

## Quimismo dos Minerais Máficos e Óxidos em Diques Alcalinos e de Composições Básicas a Intermediárias da Região Costeira entre São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo.

Gianna M. Garda<sup>1</sup> & Benigno M. Garda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – USP  
Rua do Lago 562, CEP 05508-900, São Paulo, SP

<sup>2</sup>(in memoriam)

**Palavras-chave:** diques básicos, lamprófiros alcalinos, litoral norte de São Paulo.

### RESUMO

Ao longo do litoral norte do Estado de São Paulo, diques alcalinos e de composições variando desde básicas a intermediárias ocorrem paralelamente aos lineamentos de direção geral NE-SW do Complexo Costeiro precambriano. As composições alcalinas vão desde lamprófiros picríticos, camptonitos, monchiquitos, biotita lamprófiros, tefritos a raros alnöitos, enquanto aquelas básicas a intermediárias são classificadas quimicamente como basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos.

Os diques alcalinos contêm olivinas de composição forsterítica, com  $72 < Fo < 88$ , exceto nas dos tefritos, em que  $46 < Fo < 68$ . Os alnöitos e biotita lamprófiros apresentam biotitas zonadas, caracterizadas pelo aumento de Fe e Al, comportamento variado do Ti e diminuição de Mg do núcleo (flogopítico) para a borda (biotítica). Para as biotitas dos demais lamprófiros e tefritos, Ti diminui com o aumento de Fe, enquanto naquelas dos diques de composições básicas a intermediárias o comportamento é oposto, com aumento concomitante de Ti e Fe.

Os diques alcalinos apresentam cromoespinélios zonados em que se observa diminuição de Al, Mg e Cr e aumento de Ti e Fe do centro para a borda. Os teores mais elevados de Al e Mg correspondem aos espinélios de Fe-Ti do alnöito. Nos demais lamprófiros, Al e Mg diminuem com o aumento de Fe nesses espinélios. Os teores de Al são relativamente mais baixos e de Mg em geral nulos nos espinélios de Fe-Ti dos basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos, que se caracterizam como titanomagnetitas. Apenas nessas rochas aparecem ilmenitas.

Principalmente Mg e Al caracterizam o quimismo dos minerais máficos e óxidos dos diques alcalinos, enquanto Fe e Ti caracterizam esses minerais das rochas de composições básicas a intermediárias. O alnöito e os biotita lamprófiros destacam-se pela afinidade carbonatítica, indicada, por exemplo, pela composição dos piroxênios. Os demais lamprófiros e tefritos devem ter evoluído de basaltos alcalinos, enquanto as rochas de dique de composições básicas a intermediárias assemelham-se com as rochas basálticas da Bacia do Paraná.

**Keywords:** basic dykes, alkaline lamprophyres, São Paulo northern coast.

### ABSTRACT

Along the northern coast of São Paulo State (Brazil), alkaline and basic to intermediate dykes strike parallel to NE-SW-trending lineaments in the Precambrian Costeiro Complex. Alkaline compositions range from picritic lamprophyres, camptonites, monchiquites, biotite lamprophyres, tephrites and rarer alnöites, whereas the basic to intermediate are classified chemically as basalts, trachybasalts and basaltic trachyandesites.

The alkaline dykes contain forsteritic olivines with  $72 < Fo < 88$ , except for those in the tephrites, where  $46 < Fo < 68$ . Alnöites and biotite lamprophyres present zoned biotites characterized by Fe and Al increase, erratic Ti behaviour and Mg decrease from (phlogopitic) core to (biotitic) rim. For the biotites from other lamprophyres and tephrites, Ti decreases while Fe increases, whereas for those in basic to intermediate dykes Ti and Fe increase concomitantly.

The alkaline dykes present zoned chrome spinels where Al, Mg and Cr decrease while Ti and Fe increase from core to rim. Al and Mg contents are highest in alnöite Fe-Ti spinels. In the other lamprophyres, Al and Mg decrease while Fe increases in Fe-Ti spinels. Relatively lower Al contents and lack of Mg characterize Fe-Ti spinels (titanomagnetites) from basalts, trachybasalts and basaltic trachyandesites. Ilmenites appear only in these rocks.

Mg and Al are characteristic elements of mafic and oxide minerals whereas Fe and Ti characterize these minerals in basic to intermediate dykes. Alnöites and biotite lamprophyres stand out due to their carbonatitic affinity, reflected, for instance, in their pyroxene compositions. The other lamprophyres and tephrites must have evolved from alkaline basalts, whereas dykes of basic to intermediate compositions show affinities with basaltic rocks of the Paraná Basin.

## INTRODUÇÃO

Os diques máficos têm sido alvo dos mais variados estudos, sendo os objetivos os mais diversos, como localização de plumas do manto, estabelecimento de campos de paleoesforços, mapeamento de eventos deformacionais e reconstruções paleocontinentais. Particularmente os enxames de diques com disposição radial têm sido relacionados a plumas do manto, incluindo-se entre eles o “enxame Paraná”. Os “sub”-enxames (no caso, Ponta Grossa, do Paraguai e da faixa Santos-Rio de Janeiro) são paralelos a riftes, de tal forma que podem ser interpretados como componentes de junções tríplices (Ernst *et al.*, 1995).

Este trabalho focaliza o quimismo dos minerais máficos e óxidos de diques de parte da faixa Santos-Rio de Janeiro, incluindo algumas ilhas continentais, com o objetivo de contribuir para o conhecimento das áreas-fonte dos magmas que os geraram.

## ESTUDOS ANTERIORES

Os diques do “enxame Paraná” foram mapeados durante projetos regionais (e.g. Silva *et al.*, 1977) e referidos em vários trabalhos, tais como Freitas (1947, 1976), Hasui *et al.* (1978), Almeida *et al.* (1981) e Hasui *et al.* (1994). Castro *et al.* (1984) mencionam a ocorrência de vários diques entre Mangaratiba e Angra dos Reis (litoral do Estado do Rio de Janeiro), paralelos ou subparalelos à direção NE (localmente N-S e NW-SE), verticais ou mergulhando para SE.

O primeiro mapeamento detalhado e classificação petrográfica dos diques das regiões de Caraguatatuba e Ubatuba e das ilhas Anchieta e Mar Virado foi realizado por Damasceno (1966). Os trabalhos que se seguiram trataram a química mineral e petrologia de casos específicos, tais como Gomes (1973, 1974), Gomes & Ruberti (1979) e Gomes & Berenholc (1980) sobre o dique de Toninhas, e Garda *et al.* (1992), sobre os diques da Praia Vermelha do Sul em Ubatuba.

Pesquisadores italianos e britânicos, visando situar os diques de Ponta Grossa e costeiros em um contexto petrogenético mais amplo, relacionaram esses diques aos basaltos da Bacia do Paraná (e.g. Piccirillo *et al.*, 1988, Hawkesworth *et al.*, 1992). Comin-Chiaramonti *et al.* (1983) estudaram alguns dos diques da região de Peruíbe e ao longo da Rodovia BR101, de Ubatuba a Angra dos Reis. Regelous (1993) realizou um estudo petrogenético completo sobre os diabásios do Arco de Ponta Grossa, do litoral de São Paulo e algumas ocorrências da região de

Campos do Jordão.

Pesquisadores do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo produziram vários artigos sobre a geocronologia e o paleomagnetismo dos diques e rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Bellieni *et al.* (1990) estudaram as mesmas ocorrências na Ilha de São Sebastião, sob os pontos de vista petrográfico, geoquímico e geocronológico.

Coutinho *et al.* (1991) e Coutinho & Ens (1992) apresentaram os primeiros resultados de seus estudos petrográficos e petrogenéticos sobre os diques contíguos ao Canal de São Sebastião e aqueles que ocorrem entre as cidades de Itanhaém e São Sebastião. Garda (1994, 1995), Garda & Schorscher (1994, 1996) e Garda *et al.* (1994a, 1994b) apresentaram alguns dados geoquímicos e isotópicos dos diques que ocorrem na costa entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba e as ilhas de São Sebastião, Anchieta e Mar Virado, que também são objeto de estudo do presente trabalho.

## ASPECTOS GEOLÓGICOS

A região costeira do Estado de São Paulo, incluindo algumas ilhas continentais, é recortada por diques com direção preferencial NE-SW (Figura 1). A encaixante constitui-se de rochas precambrianas polimetamorfizadas do Complexo Costeiro, compreendendo gnaisses facoidais, leptitos, kinzigitos, charnockitos e migmatitos dos mais variados tipos (Schobbenhaus *et al.*, 1984).

Ao longo da costa, os diques estão em geral fracamente alterados ou frescos, podendo formar enxames discretos com seis ou mais diques ou estar isolados, algumas vezes ramificados, com espessuras variando desde alguns centímetros a vários metros. Quando erodidos, podem ser encontrados restos de suas bordas encrustados na encaixante e/ou blocos de diferentes tamanhos e formas preenchendo fraturas da mesma.

Os principais tipos litológicos que constituem os diques e que são reconhecíveis no campo são rochas básicas a intermediárias, lamprófiros com afinidade alcalina e traquitos.

Diques compostos por rochas básicas a intermediárias são mais comumente encontrados entre as cidades de Caraguatatuba e Ubatuba, a oeste da ilha de São Sebastião e nas ilhas do Mar Virado e Anchieta. As espessuras variam de alguns centímetros a vários metros. A granulação da matriz é em geral de fina a muito fina a afanítica, sendo que os diques mais espessos possuem granulação mais grossa, com porções mais internas mais claras. Podem



**Figura 1:** Mapa de localização dos diques máficos citados neste trabalho. Alnöito = PCa-1; biotita lamprófiros = PBF-1, C-2, 174; lamprófiros picríticos = PV-4, A-01, PA-8; monchiquitos = PV-5, CB-4, PG-1, PG-3; camptonitos = PS-2, PF-6, C-7, CB-7, CB-8, GPF; tefrito = IA-2; basaltos = SA-1, IA-7; traquibasaltos = B-3, IA-3; traquiandesitos basálticos = MV-1, PB-1.

desenvolver bordas com granulação muito fina ou vítreas. A cor predominante é preto acastanhado (“ferrugem”).

Os lamprófiros alcalinos ocorrem com mais frequência entre São Sebastião e Caraguatatuba, sendo que alguns também foram encontrados nas ilhas do Mar Virado e Anchieta. Distinguem-se das rochas básicas a intermediárias pela cor preta a cinza escuro e pela presença mais abundante de fenocristais de piroxênio. Cavidades milimétricas são formadas pela lixiviação de fenocristais ou de estruturas globulares.

Outro tipo litológico encontrado próximo à praia Cabelo Gordo (onde se localiza o Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo, indicado pela sigla CB na Figura 1) e na Ilha de São Sebastião são traquitos relacionados ao magmatismo alcalino da ilha. Estas rochas são predominantemente constituídas por feldspato alcalino, constituindo tanto a matriz como microfenocristais.

## ASPECTOS PETROGRÁFICOS E QUÍMICOS

As rochas básicas que apresentam aspecto basáltico são de granulação fina a muito fina, predominando texturas granulares e ofíticas/subofíticas (subordinadamente intersertal). Plagioclásio e piroxênio (augita e rara pigeonita) são os principais constituintes da rocha. Os termos intermediários apresentam porções com granulação mais grossa, sendo que plagioclásio pode predominar sobre piroxênio e não raro encontra-se envolvido por um sobre-crescimento granofírico de feldspato alcalino e quartzo.

A quantidade de biotita e apatita é variável. Minerais opacos, predominantemente ilmenita e espinélio de Fe-Ti, mostram-se dendríticos ou esqueléticos. Pirita é mais rara, constituindo minúsculos cristais disseminados. Sericita, clorita e, mais raramente, hornblenda são minerais secundários comuns.

Veios muito finos com quartzo, carbonato e/ou clorita podem ser encontrados, assim como xenólitos das rochas encaixantes.

As rochas básicas a intermediárias são classificadas no diagrama total de álcalis vs. sílica (TAS; e.g. Le Maitre, 1989) como basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos (Garda, 1995). Os teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  aumentam, enquanto os de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$  decrescem dos tipos básicos para os intermediários. Os valores de  $\text{Mg\#}$  [ $= \text{MgO}_{\text{molar}} / (\text{MgO}_{\text{molar}} + \text{FeO}_{\text{molar}})$ ] são baixos ( $\leq 39$ ).

Segundo a classificação de Rock (1991), reconhecem-se camptonitos, monchiquitos, biotita lamprófiros,

lamprófiros picríticos e alnöitos entre os lamprófiros alcalinos da área de estudo.

Camptonitos e monchiquitos caracteristicamente apresentam anfibólio (kaersutita) e biotita, além de olivina forsterítica, piroxênio e material intersticial de baixa birrefringência (por vezes alterado para clorita), em que plagioclásio, feldspato alcalino e feldspatóides podem, às vezes, ser reconhecidos. Carbonato acha-se misturado com a matriz em proporções variáveis. Piroxênio (augita titanífera) predomina entre os minerais constituintes da rocha, sendo em geral zonado, apresentando bordas mais escuras, avermelhadas. Fenocristais de piroxênio são em geral abundantes e podem formar agregados. Fenocristais de olivina, em geral com inclusões de cromoespinélio, podem estar totalmente pseudomorfizados.

Analcima está presente nos monchiquitos, podendo ser relativamente abundante na matriz. Camptonitos e monchiquitos possuem quantidades variáveis de estruturas globulares milimétricas a submilimétricas preenchidas com carbonato (nos camptonitos) e carbonato  $\pm$  analcima (nos monchiquitos).

Os biotita lamprófiros contêm cerca de 20% de biotita. A biotita é geralmente zonada, possuindo bordas mais escuras (biotíticas) e núcleos mais claros (flogopíticos); quando não zonada, é mais fortemente pleocróica em relação às biotitas dos demais litotipos.

Fenocristais de piroxênio compõem texturas seriadas, com os piroxênios da matriz formando uma trama densa. Minerais opacos podem ser abundantes. Minerais completamente pseudomorfizados (anteriormente foides?) também são encontrados. Olivina fresca pode ser reconhecida no núcleo dessas formas pseudomorfizadas, frequentemente contendo inclusões de cromoespinélio.

Os lamprófiros picríticos são ricos em piroxênio e megacristais de olivina (por vezes fresca). Os cromoespinélio aparecem ou como inclusões na olivina, ou como grãos disseminados na matriz. Kaersutita, biotita e analcima são mais raros ou estão ausentes nessas rochas.

Melilita caracteriza o único dique de alnöito encontrado na área de estudo (PCa-1 na Figura 1). Piroxênio é o principal constituinte deste lamprófiro ultramáfico, em que biotitas e cromitas encontram-se muitas vezes zonadas.

Os valores de  $\text{Mg\#}$  são altos para os diques alcalinos (entre 51 e 80). São classificados no diagrama TAS como foiditos, com  $\text{SiO}_2 < 47\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variando entre 5% e 14%,  $\text{MgO} > 7\%$  e com altos conteúdos de  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ . As composições do alnöito e do biotita lamprófiro caem dentro dos campos definidos pelos outros lamprófiros, porém destacando-se que o alnöito é a rocha mais rica em  $\text{CaO}$  (e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e a mais pobre em  $\text{SiO}_2$ , e que os biotita lamprófiros

são também pobres em  $\text{SiO}_2$  e possuem os teores mais elevados em  $\text{FeO}$ .

Monchiquitos e camptonitos possuem altos teores de  $\text{CaO}$ , devido em parte aos carbonatos que preenchem as estruturas globulares e que estão misturados na matriz. Os lamprófiros picríticos são classificados como picrobasaltos e apresentam os valores mais baixos de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ .

O diagrama TAS distingue um conjunto de tefritos, composicionalmente intermediários entre lamprófiros e rochas básicas a intermediárias. Garda & Schorscher (1996) reconheceram estas rochas em ambos os lados do Canal de São Sebastião. Sua composição mineral é muito semelhante à dos monchiquitos e camptonitos, mas não possuem minerais hidratados (álcali basaltos). Estas rochas foram consideradas por Garda (1995) os magmas parentais dos lamprófiros alcalinos.

## QUÍMICA MINERAL

A química mineral foi realizada utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura JEOL 6400 (MEV) com sistema EDS acoplado, do Centre for Microscopy and Microanalysis da Universidade de Western Australia. Os minerais analisados pelo MEV foram biotitas, cromoespinélios, espinélios de Fe-Ti, ilmenitas e olivinas. Com a microsonda eletrônica CAMECA SX 50 da School of Earth Sciences da Universidade de Macquarie, foram

reanalisadas por WDS as biotitas zonadas. O cálculo da fórmula estrutural de cada mineral foi efetuado com os programas RECALC2 (Griffin *et al.*, 1991), MINTAB (Rock & Carroll, 1990) e MINPET (Richard, 1995).

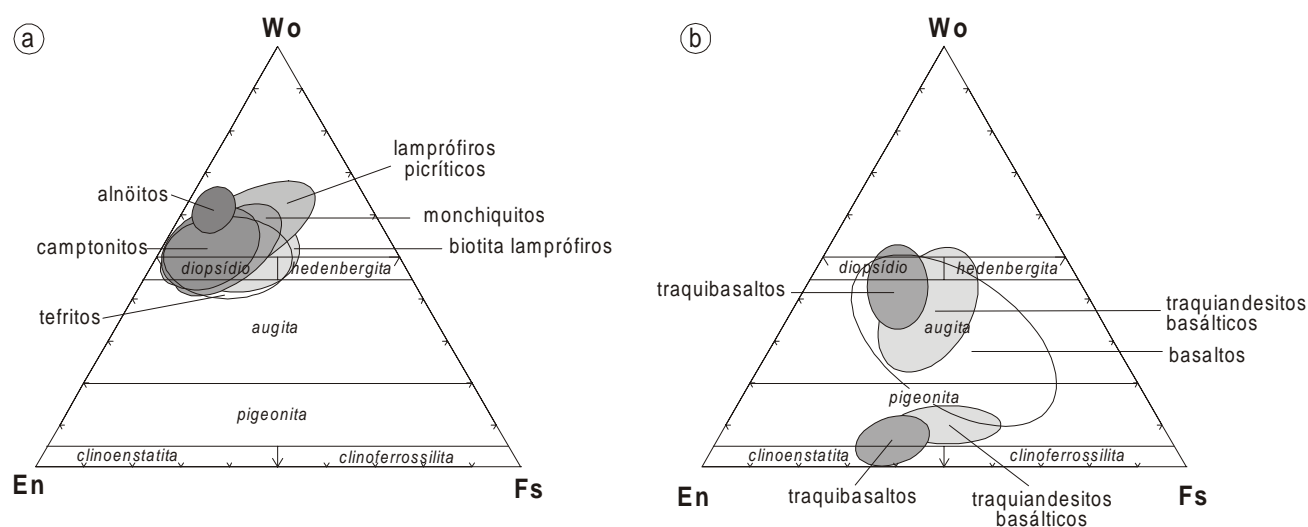
Os dados, tabelados em planilhas do MICROSOFT EXCEL, estão disponíveis em Garda (1995). As tabelas 1 a 7 deste trabalho resultam da compilação dos teores mínimos e máximos (% em peso) obtidos das análises por EDS e WDS e do cálculo da fórmula estrutural dos minerais em questão e não reproduzem, portanto, análises pontuais.

Os parâmetros apresentados no texto, nas tabelas e nas figuras encontram-se listados por mineral no Apêndice.

## Piroxênios

Apresenta-se a seguir um resumo da discussão de Garda (1996) sobre a química mineral dos piroxênios dos diques estudados.

Os piroxênios do alnöito (PCa-1) possuem os teores mais altos de  $\text{TiO}_2$  (4-8%) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10-14%) e os mais baixos de  $\text{SiO}_2$  (34-43%), refletindo, assim, a composição da rocha, uma vez que a deficiência em sílica e as altas concentrações de  $\text{CaO}$  caracterizam os alnöitos. Observa-se na Figura 2a que este fato se expressa no diagrama enstatita-diopsídio-hedenbergita-ferrossilita (Quad; e.g. Morimoto, 1988) pelas composições que plotam acima do limite diopsídio-hedenbergita (wollastonita > 50), fora dos campos dos piroxênios ferromagnesianos e cálcicos



**Figura 2:** Campos composicionais (compilados de Garda, 1995 e 1996) dos piroxênios dos diques alcalinos (a) e de composições básicas a intermediárias (b).

**Tabela 1a:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por WDS dos núcleos das biotitas zonadas de biotita lamprófiros e do alnöito. Fórmula estrutural calculada com base em 11 átomos de oxigênio.

Amostra	C-2B(2)	C-2B(2)	C-2D	C-2D	PBF-1	PBF-1	174-B	174-B	PCa-1(1)	PCa-1(2)
Litotipo	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	alnöito	alnöito
(% peso)	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos
SiO <sub>2</sub>	34,332	37,006	34,647	37,713	35,581	37,512	35,861	37,251	33,245	35,603
TiO <sub>2</sub>	5,024	6,175	2,440	5,948	3,181	4,546	3,760	4,352	3,963	6,076
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,978	15,710	13,939	15,686	13,527	16,042	14,988	15,934	15,189	16,541
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,261	0,000	0,045	0,000	0,045	0,000	0,398	0,000	0,026
FeO <sub>t</sub>	7,895	10,328	8,088	8,885	8,387	10,327	6,800	10,375	8,548	11,354
MnO	0,031	0,159	0,047	0,194	0,031	0,188	0,019	0,141	0,165	0,288
MgO	17,564	19,389	17,691	20,240	18,823	20,693	17,495	21,190	16,055	19,741
CaO	0,015	0,149	0,051	1,516	0,021	0,086	0,019	0,086	0,055	0,143
Na <sub>2</sub> O	0,135	0,317	0,187	0,296	0,158	0,363	0,236	0,393	0,298	0,426
K <sub>2</sub> O	9,157	9,944	9,191	9,904	8,581	10,066	9,391	10,055	7,931	9,147
BaO	0,000	2,409	0,215	1,825	0,000	1,355	0,138	1,300	2,033	4,394
NiO	0,000	0,125	0,000	0,101	0,000	0,112	0,000	0,135	0,000	0,077
F	0,271	0,754	0,550	0,706	0,466	0,635	0,408	1,039	0,514	0,787
Cl	0,000	0,014	0,000	0,012	0,000	0,016	0,000	0,027	0,000	0,035
Total	94,898	96,843	93,936	95,921	93,939	95,936	94,241	96,607	93,884	96,671
O=F	-0,317	-0,114	-0,297	-0,232	-0,267	-0,196	-0,437	-0,172	-0,331	-0,216
O=Cl	-0,003	0,000	-0,003	0,000	-0,004	0,000	-0,006	0,000	-0,008	0,000
Total	94,060	96,117	93,700	95,689	93,720	95,698	93,522	95,263	93,120	95,771
Si	2,570	2,677	2,574	2,776	2,613	2,772	2,659	2,702	2,489	2,636
Ti	0,276	0,341	0,135	0,330	0,176	0,253	0,208	0,239	0,220	0,348
Al	1,287	1,387	1,210	1,376	1,178	1,386	1,277	1,381	1,331	1,460
Cr	0,000	0,015	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,023	0,000	0,001
Fe <sub>2</sub>	0,479	0,635	0,502	0,553	0,516	0,638	0,410	0,644	0,529	0,721
Mn	0,001	0,010	0,003	0,012	0,001	0,011	0,001	0,008	0,011	0,018
Mg	1,902	2,097	1,977	2,221	2,072	2,277	1,935	2,278	1,816	2,178
Ca	0,001	0,012	0,004	0,122	0,001	0,007	0,001	0,007	0,004	0,011
Na	0,019	0,044	0,028	0,043	0,022	0,052	0,033	0,055	0,043	0,062
K	0,876	0,917	0,875	0,930	0,809	0,942	0,881	0,934	0,758	0,868
Ba	0,000	0,070	0,007	0,052	0,000	0,039	0,004	0,037	0,059	0,128
Ni	0,000	0,007	0,000	0,006	0,000	0,007	0,000	0,008	0,000	0,004
F	-0,437	-0,157	-0,004	0,000	-0,369	-0,270	-0,602	-0,237	-0,457	-0,297
Cl	-0,004	0,000	-0,408	-0,319	-0,006	0,000	-0,008	0,000	-0,011	0,000
Total Cations	7,373	7,623	7,400	7,503	7,495	7,622	7,234	7,602	7,336	7,510
Fe <sub>2</sub>	0,19	0,25	0,20	0,22	0,19	0,23	0,15	0,25	0,22	0,28

típicos. Este não é apenas o caso dos piroxênios ricos em Ti e Ca do alnöito da área de estudo, mas também de alguns dos lamprófiros alcalinos, onde o balanço entre Al e Si (para preencher sítios tetraédricos), entre Fe e Ti (para preencher a posição M1), e a necessidade de Ca preencher a posição M2 são também observados em mega/fenocristais zonados. As bordas são mais ricas em Ti (tonalidade avermelhada ao microscópio

óptico), Fe (brilho mais intenso da zona mais externa do cristal nas imagens do MEV) e Al do que os núcleos. As bordas dos megacristais possuem aproximadamente as composições dos piroxênios da matriz, indicando, pelo ligeiro aumento de Wo dos núcleos para as bordas, o caráter alcalino do líquido com o qual se reequilibraram.

Por outro lado, as composições dos piroxênios das ro-



**Tabela 1b:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por WDS das bordas das biotitas zonadas de biotita lamprófiros e do alnöito. Fórmula estrutural calculada com base em 11 átomos de oxigênio.

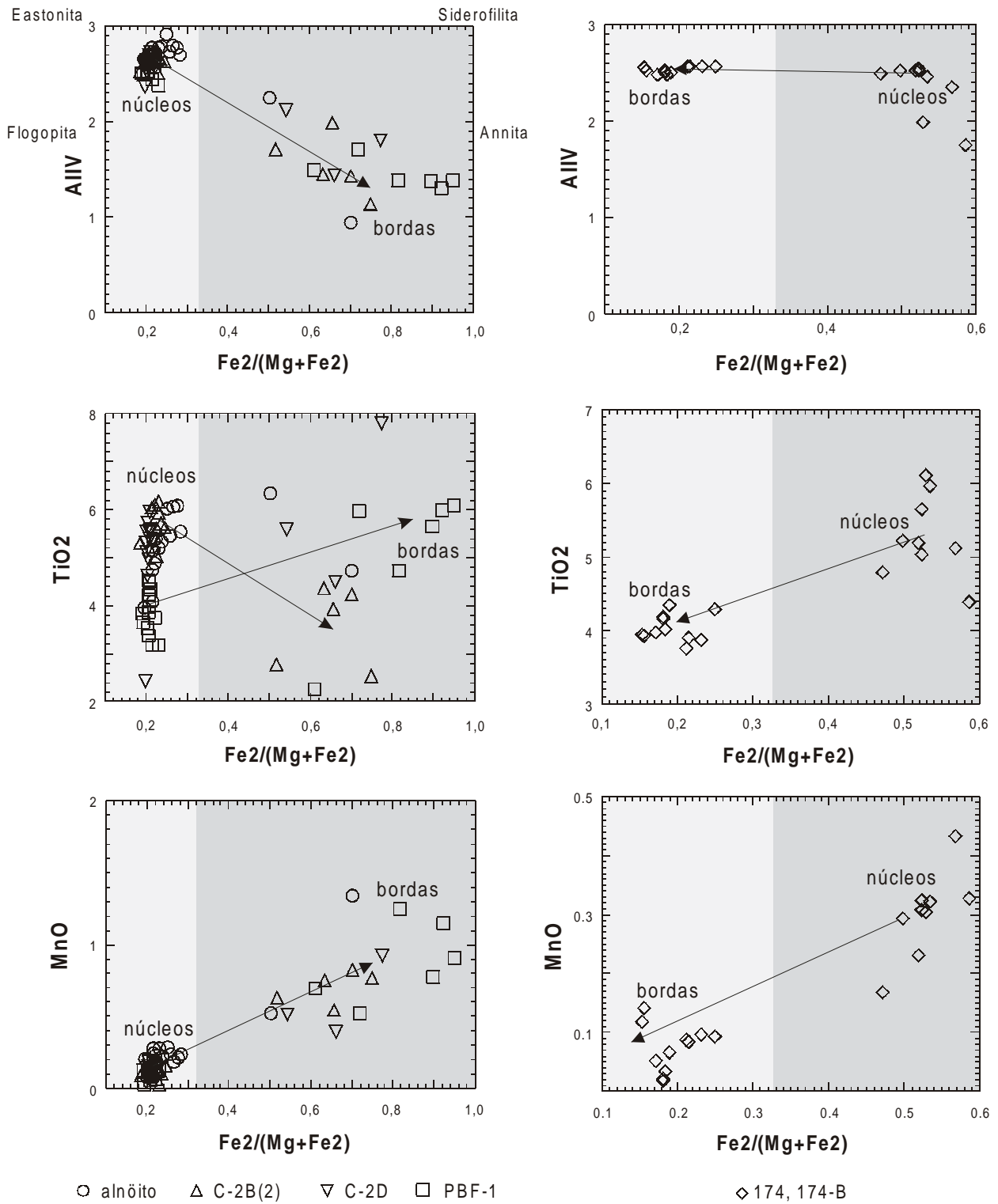
Amostra	C-2B(2)	C-2B(2)	C-2D	C-2D	PBF-1	PBF-1	174-B	174-B	PCa-1(2)	PCa-1(2)
Litotipo	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	alnöito	alnöito
(% peso)	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos
SiO <sub>2</sub>	34,522	38,279	32,195	35,500	33,026	36,880	34,170	39,237	35,033	35,473
TiO <sub>2</sub>	2,541	4,366	4,490	7,796	2,263	6,088	4,398	6,107	4,734	6,339
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,612	10,275	6,491	10,186	6,265	8,679	12,679	14,384	4,712	11,927
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,053	0,004	0,039	0,000	0,110	0,000	0,109	0,000	0,000
FeO <sub>t</sub>	21,464	33,375	19,073	24,984	26,823	37,983	18,920	22,272	20,055	30,319
MnO	0,546	0,824	0,396	0,922	0,521	1,250	0,169	0,434	0,521	1,338
MgO	6,295	11,298	4,111	9,028	1,112	9,571	8,101	11,862	7,225	11,102
CaO	0,099	0,212	0,302	6,814	0,049	0,201	0,000	0,095	0,196	0,431
Na <sub>2</sub> O	0,056	0,361	0,041	0,155	0,093	0,260	0,423	1,080	0,352	0,413
K <sub>2</sub> O	8,725	9,953	6,657	9,197	8,572	9,677	8,686	9,312	8,432	8,706
BaO	0,000	0,390	0,000	0,239	0,000	0,000	0,000	0,918	0,519	1,691
NiO	0,013	0,053	0,000	0,073	0,000	0,076	0,000	0,077	0,033	0,066
F	0,156	1,350	0,284	0,641	0,124	0,772	0,285	0,579	0,379	0,517
Cl	0,000	0,007	0,000	0,032	0,000	0,037	0,000	0,024	0,000	0,006
Total	92,774	95,421	88,915	92,773	94,047	95,406	95,247	98,251	95,123	95,396
O=F	-0,568	-0,066	-0,270	-0,120	-0,325	-0,052	-0,244	-0,120	-0,160	-0,218
O=Cl	-0,002	0,000	-0,007	0,000	-0,008	0,000	-0,005	0,000	0,000	-0,001
Total	92,544	94,321	88,792	92,589	93,995	95,340	94,577	97,479	94,584	94,654
Si	2,864	2,988	2,716	2,912	2,863	2,984	2,663	2,962	2,724	2,970
Ti	0,164	0,264	0,296	0,481	0,138	0,393	0,250	0,348	0,298	0,371
Al	0,572	0,971	0,668	0,985	0,642	0,835	1,155	1,295	0,465	1,093
Cr	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,007	0,000	0,007	0,000	0,000
Fe <sub>2</sub>	1,401	2,416	1,308	1,772	1,815	2,731	1,203	1,456	1,305	2,123
Mn	0,037	0,058	0,029	0,065	0,036	0,089	0,011	0,029	0,034	0,095
Mg	0,813	1,315	0,503	1,103	0,143	1,154	0,912	1,352	0,902	1,287
Ca	0,008	0,019	0,026	0,638	0,004	0,018	0,000	0,008	0,018	0,036
Na	0,008	0,055	0,007	0,026	0,015	0,041	0,065	0,158	0,054	0,067
K	0,964	1,008	0,743	0,963	0,941	0,998	0,843	0,928	0,836	0,930
Ba	0,000	0,014	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,028	0,017	0,055
Ni	0,001	0,003	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000	0,004	0,003	0,004
F	-0,782	-0,091	-0,010	0,000	-0,447	-0,072	-0,336	-0,165	-0,220	-0,300
Cl	-0,003	0,000	-0,371	-0,165	-0,011	0,000	-0,007	0,000	0,000	-0,001
Total Cations	7,013	7,937	7,330	7,732	7,484	7,814	7,349	7,652	7,539	7,626
Fe <sub>2</sub>	0,52	0,75	0,54	0,77	0,61	0,95	0,47	0,59	0,50	0,70

chas básicas a intermediárias estão bem representadas no diagrama Quad, plotando nos campos da augita, augita subcálcica e pigeonita (Figura 2b). As composições dos piroxênios dos basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos definem tendências que, sobrepostas aos diagramas de Lindsley (1983), indicam como temperaturas de cristalização mínimas das pigeonitas e augitas valores entre 1000° e 1100°C.

## Biotitas

Neste item estão sendo consideradas 17 análises de núcleos (Tabela 1a) e 71 análises de bordas (Tabela 1b) por WDS (microsonda eletrônica) de biotitas zonadas do alnöito e dos biotita lamprófiros.

A Tabela 2 apresenta os teores mínimos e máximos da compilação de 20 análises por EDS (microscópio eletrônico de var-

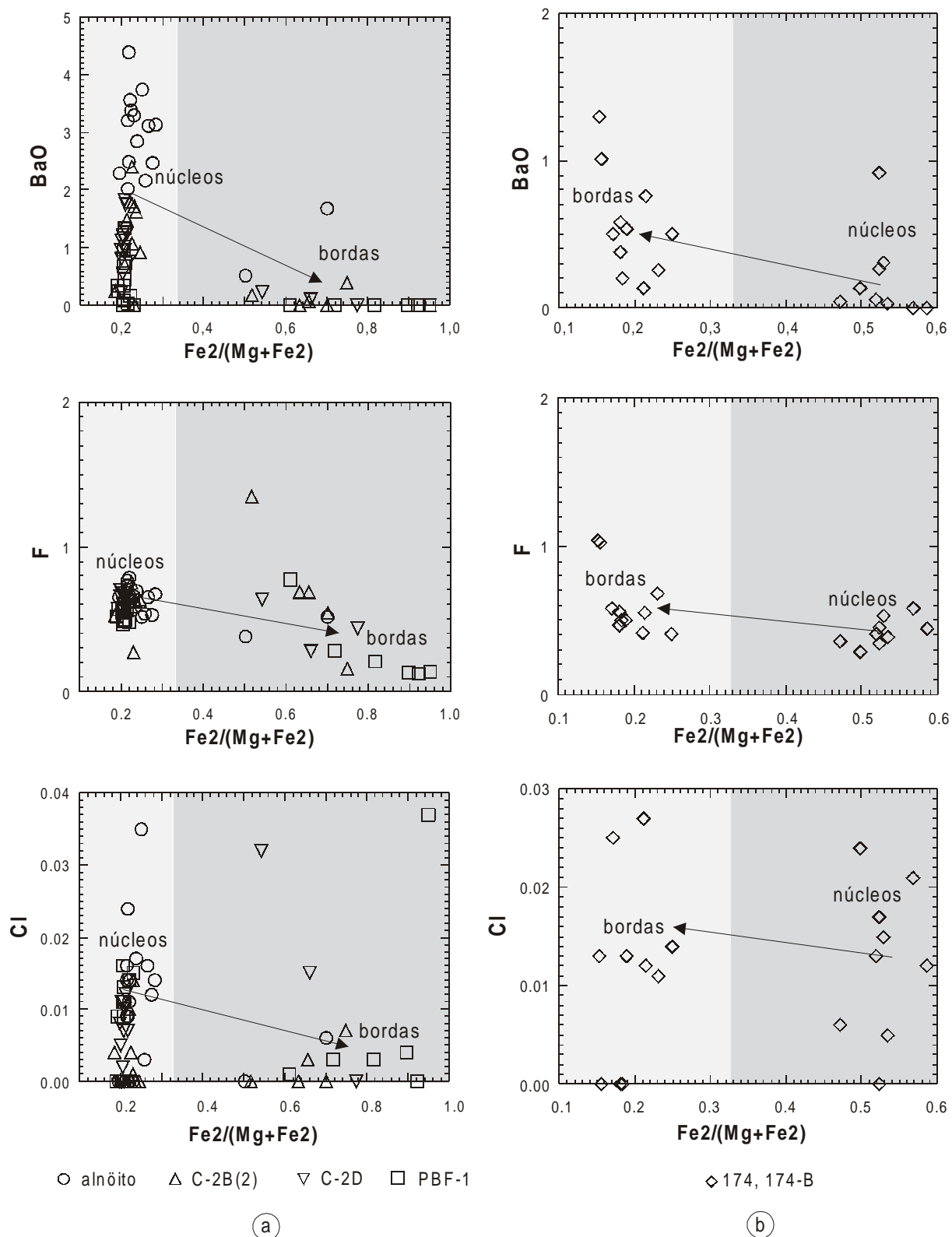


(a)

(b)

**Figura 3:** Variações de Al, TiO<sub>2</sub> e MnO (% em peso) nos núcleos flogopíticos (campo cinza claro - Tabela 1a) e bordas (campo cinza escuro - Tabela 1b) das biotitas. (a) alnôito e biotita lamprófiros C-2B(2), C-2D e PBF-1; (b) biotita lamprófiro 174/174-B.





**Figura 3 (cont.):** Variações em BaO, F e Cl (% em peso) nos núcleos flogopíticos (campo cinza claro - Tabela 1a) e bordas (campo cinza escuro - Tabela 1b) das biotitas. (a) alnöite e biotita lamprófiros C-2B(2), C-2D e PBF-1; (b) biotita lamprófiro 174/174-B.

**Tabela 2:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS de biotitas/flogopitas dos lamprófiros picríticos, monchiquitos, camptonitos e tefitos. Fórmula estrutural calculada com base em 11 átomos de oxigênio.

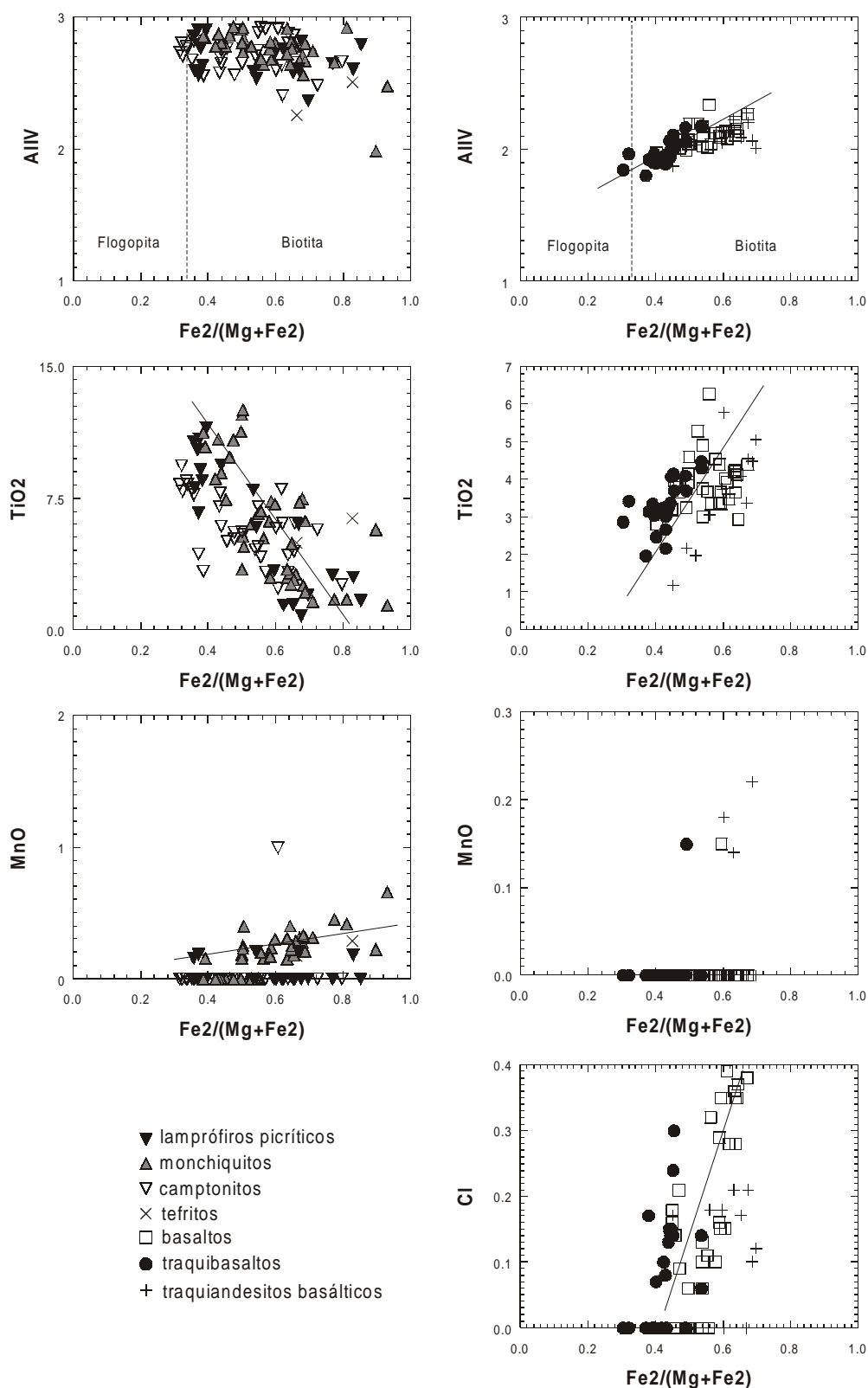
Amostra	A-01-B(1)	A-01-B(1)	PA-8C1	PV-4C	PV-4C	PA-8C1	PA-8C1	PA-8C1	PV-4C	PV-4C	CB-4-4	CB-4-4	PG-1	PG-1	PG-3-2	PG-3-2	PV-5C
Litotipo	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	lpicr	monch	monch	monch	monch	monch	monch	monch
(% peso)	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos
SiO <sub>2</sub>	31,92	35,65	31,95	36,58	30,51	36,58	33,98	32,53	33,98	29,43	34,32	32,43	33,88	31,22			
TiO <sub>2</sub>	0,82	3,38	1,41	11,5	5,89	11,5	7,47	5,24	7,47	1,41	6,04	1,74	4,89	7,4			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	15,85	14,85	17,51	13,07	17,51	15,8	15,16	15,8	9,91	21,97	15,87	17,62	15,2			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0			
FeO <sub>t</sub>	24,02	35,11	25,7	22,78	13,02	22,78	25,48	20,51	25,48	19,01	34,5	24,44	31,38	13,4			
MnO	0	0,18	0	0,21	0	0,21	0,32	0	0,32	0	0,66	0,21	0,45	0			
MgO	3,42	9,2	8,03	13,73	6,37	13,73	9,53	6,53	9,53	1,47	10,89	5,16	8,13	9,28			
CaO	0	0,6	0	3,84	0	3,84	0	0	0	0	2,46	0	0	0			
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0,88	0	0,88	0,4	0	0,4	0	0,52	0	0,5	0,23			
K <sub>2</sub> O	7,58	9,46	7,79	9,18	7,06	9,18	8,62	8,02	8,62	7,17	9,18	8,27	8,42	6,97			
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total	93,01	96,99	90,65	101,37	90,46	101,37	96,77	94,21	96,77	91,7	96,93	94,01	96,73	91,27			
Si	2,64	2,777	2,66	2,671	2,459	2,671	2,64	2,551	2,64	2,536	2,84	2,588	2,681	2,44			
Ti	0,05	0,202	0,0885	0,678	0,336	0,678	0,436	0,306	0,436	0,087	0,357	0,105	0,294	0,43			
Al	1,443	1,506	1,4295	1,476	1,294	1,476	1,452	1,398	1,452	0,967	2,029	1,497	1,639	1,393			
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0	0	0			
Fe <sub>2</sub>	1,6	2,429	1,7895	1,599	0,804	1,599	1,683	1,334	1,683	1,207	2,38	1,629	2,099	0,862			
Mn	0	0,012	0	0,015	0	0,015	0,021	0	0,021	0	0,046	0,014	0,03	0			
Mg	0,422	1,092	0,978	1,527	0,797	1,527	1,105	0,769	1,105	0,179	1,246	0,615	0,938	1,073			
Ca	0	0,052	0	0,345	0	0,345	0	0	0	0	0,227	0	0	0			
Na	0	0	0	0,121	0	0,121	0,06	0	0,06	0	0,076	0	0,075	0,035			
K	0,787	0,94	0,819	0,888	0,679	0,888	0,865	0,803	0,865	0,788	0,969	0,832	0,849	0,69			
Cl-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total cátions	7,83	7,95	7,876	7,928	7,53	7,83	7,8	7,68	7,8	7,63	8	7,8	7,9	7,49			
Fe <sub>2</sub>	0,59	0,85	0,62	0,67	0,36	0,67	0,69	0,55	0,69	0,50	0,93	0,63	0,77	0,38			

**Tabela 2 (cont.):** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS de biotitas/flogopitas dos lamprofíros picriticos, monchiquitos, camptonitos e tefritos. Fórmula estrutural calculada com base em 11 átomos de oxigênio.

Amostra	CB-7-2A		CB-7-2A		CB-8A		CB-8A		GPF-A-2		GPF-A-2		PF-6B		PF-6B		PS-2		PS-2		IA-2	
Litotipo	campto		campto		campto		campto		campto		campto		campto		campto		campto		campto		tefitro	
(% peso)	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	
SiO2	30,79	34,98	31,65	33,70	31,63	34,94	32,90	34,51	34,13	36,04	34,27											
TiO2	2,58	4,75	4,49	5,80	2,38	7,79	5,90	9,34	5,18	8,00	4,94											
Al2O3	15,74	16,86	15,35	15,94	15,66	17,90	15,77	16,35	14,40	16,47	13,13											
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
FeOt	14,92	30,63	22,39	25,39	16,28	25,57	11,50	16,91	18,94	28,41	25											
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17											
MgO	4,39	14,11	7,57	8,38	8,96	12,04	12,13	14,07	6,13	11,57	3,67											
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,00	0,00	0											
Na2O	0	0,24	0	0,40	0	0,56	0,18	0,68	0,36	0,65	0											
K2O	7,76	8,98	7,44	8,46	7,57	8,74	7,56	8,75	8,50	9,05	9,14											
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Total	90,72	95,19	89,04	98,07	92,32	96,00	91,25	94,55	96,29	100,22	95											
Si	2,551	2,691	2,569	2,640	2,503	2,641	2,519	2,628	2,601	2,726	2,674											
Ti	0,157	0,283	0,274	0,342	0,142	0,441	0,338	0,535	0,293	0,459	0,294											
Al	1,421	1,588	1,418	1,526	1,395	1,597	1,422	1,459	1,284	1,463	1,224											
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Fe2	0,956	2,079	1,467	1,724	1,029	1,699	0,732	1,077	1,192	1,803	1,654											
Mn	0,01	0,021	0	0,010	0	0,034	0	0	0	0,018	0,011											
Mg	0,531	1,610	0,916	0,979	1,057	1,352	1,376	1,599	0,693	1,298	0,427											
Ca	0	0	0	0	0	0	0	0,012	0,000	0,000	0											
Na	0	0,039	0	0,061	0	0,082	0,027	0,100	0,053	0,096	0											
K	0,821	0,886	0,771	0,846	0,761	0,839	0,744	0,850	0,822	0,876	0,91											
Cl-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Total cátions	7,760	7,860	7,762	7,779	7,700	7,900	7,650	7,750	7,720	7,790	7,76											
Fe2	0,37	0,80	0,60	0,65	0,43	0,61	0,36	0,35	0,48	0,72	0,66											

Tabela 3 - Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS de biotitas dos basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos. Fórmula estrutural calculada com base em 11 átomos de oxigênio.

Amostra	IA-7A	IA-7A	IA-7B	IA-7B	IA-7B	SA-1-B1	SA-1-B1	SA-1-B1	B-3	B-3	IA-3-A	IA-3-A	IA-3-A	MV-1-A	MV-1-A
Litotipo	basalto	basalto	basalto	basalto	basalto	basalto	basalto	basalto	traquib	traquib	traquib	traquib	traquib	bastran	bastran
% peso	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	máximos
SiO <sub>2</sub>	35,55	38,6	35,45	38,21	36,19	39,12	37,59	41,03	38,13	39,69	35,77	39,79	35,77	39,79	39,79
TiO <sub>2</sub>	3,91	6,26	2,94	4,54	2,78	3,97	1,96	4,47	2,87	4,13	1,18	4,55	1,18	4,55	4,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,75	12,76	11,11	12,09	11,05	12,03	10,77	12,86	10,58	12,25	10,99	12,39	10,99	12,39	12,39
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO <sub>t</sub>	19,65	23,2	20,62	27,39	17,47	19,5	16,58	22,63	12,86	19,15	19,67	26,85	19,67	26,85	26,85
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0,14	0	0	0,14
MgO	10,28	11,91	7,47	12,03	12,07	14,65	10,64	15,7	12,75	16,48	7,26	13,42	7,26	13,42	13,42
CaO	0	1,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0,23	0	0,28	0	0,18	0	0	0	0,17	0	0	0,17
K <sub>2</sub> O	8,71	9,39	8,53	9,33	8,98	9,37	7,89	9,54	9,1	10,07	8,61	9,41	8,61	9,41	9,41
Cl	0	0,06	0	0,39	0	0,21	0	0,14	0	0,3	0	0,21	0	0	0,21
Total	92,77	97,04	93,19	97,36	91,15	95,8	93,52	99,14	91,21	96,27	94,49	96,55	94,49	96,55	96,55
Si	2,739	2,923	2,822	2,95	2,901	2,978	2,853	3,061	2,894	3,025	2,831	3,024	2,831	3,024	3,024
Ti	0,224	0,36	0,172	0,264	0,159	0,229	0,11	0,25	0,166	0,236	0,067	0,268	0,067	0,268	0,268
Al	1,064	1,15	1,009	1,122	1,004	1,075	0,957	1,152	0,962	1,086	1,011	1,156	1,011	1,156	1,156
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sub>2</sub>	1,303	1,483	1,332	1,804	1,112	1,277	1,035	1,408	0,83	1,215	1,25	1,761	1,25	1,761	1,761
Mn	0	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0,009	0	0,009	0,009
Mg	1,171	1,34	0,877	1,384	1,383	1,662	1,207	1,746	1,429	1,889	0,849	1,52	0,849	1,52	1,52
Ca	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	0,034	0	0,041	0	0,026	0	0	0	0,025	0	0,025	0,025
K	0,85	0,914	0,866	0,93	0,883	0,919	0,759	0,911	0,885	0,959	0,857	0,935	0,857	0,935	0,935
Cl-	0	0,008	0	0,052	0	0,029	0	0,018	0	0,038	0	0,028	0	0,028	0,028
Total cations	7,75	7,8	7,76	7,85	7,77	7,83	7,73	7,81	7,78	7,83	7,8	7,87	7,8	7,87	7,87
Fe <sub>2</sub>	0,50	0,56	0,49	0,67	0,40	0,47	0,3722	0,5356	0,31	0,45	0,45	0,67	0,45	0,67	0,67



**Figura 4:** Variações em Al, TiO<sub>2</sub>, MnO e CI (% em peso) nas biotitas. À esquerda: lamprófiros e tefritos (Tabela 2). À direita: rochas básicas a intermediárias (Tabela 3).

redura) de biotitas dos lamprófiros picríticos, 39 dos monchiquitos, 32 dos camptonitos, 2 dos tefritos, 33 dos basaltos, 24 dos traquibasaltos e 12 dos traquiandesitos basálticos.

Os campos composicionais das flogopitas e biotitas é arbitrariamente fixado em  $\text{Fe}:\text{Mg} = 2:1$  (Deer *et al.*, 1992), em um diagrama retangular com os membros extremos: annita  $[\text{K}_2\text{Fe}_6\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$  – siderofilita  $[\text{K}_2\text{Fe}_5\text{Si}_5\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$  – flogopita  $[\text{K}_2\text{Mg}_6\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$  – eastonita  $[\text{K}_2\text{Mg}_5\text{Si}_5\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$ .

Estes campos são representados no diagrama  $\text{Al}^{\text{IV}}$  vs.  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$ , ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Observa-se na Figura 3 que os núcleos das biotitas zonadas do alnöito e alguns biotita lamprófiros são flogopitas, envoltas por bordas biotíticas. Esta variação ao microscópio óptico é expressa pela coloração mais clara (alaranjada) dos núcleos e mais escura (acastanhada) das bordas dos cristais. O espalhamento dos dados relativos a essas bordas observado nos demais diagramas da Figura 3 indica condições de equilíbrio entre cristais de flogopita e o líquido, que é alcançada principalmente com ganhos em Fe e perdas de Al e Mg. Para  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$  entre 0.18 - 0.33, que corresponde aos núcleos flogopíticos, os teores de  $\text{Al}^{\text{IV}}$ , BaO, F e Cl são mais elevados do que nas bordas biotíticas, que são mais ricas em FeO, ou seja,  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$  acima de 0.5 a 1.0, e MnO. O comportamento do Ti é mais difícil de ser interpretado. Os teores de  $\text{TiO}_2$  são variáveis nos núcleos flogopíticos, os mais altos correspondendo ao alnöito e aos biotita lamprófiros C-2B(2) e C-2D ( $\text{TiO}_2 \approx 6\%$ ); estas concentrações podem tanto aumentar (amostra PBF-1) como diminuir [amostra C-2B(2)] em direção às bordas (Tabelas 1a e 1b).

Um esquema inverso de cor (núcleos acastanhados e bordas alaranjadas) foi observado nas biotitas dos biotita lamprófiros 174 e 174B. Com o aumento de  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$  (de 0.47 a 0.26), os teores de  $\text{Al}^{\text{IV}}$ , BaO e F aumentam, enquanto MnO e  $\text{TiO}_2$  diminuem.

Para os demais lamprófiros (Tabela 2 e Figura 4), as biotitas possuem altos teores de  $\text{Al}^{\text{IV}}$ , comparáveis aos encontrados nos núcleos das biotitas do alnöito e biotita lamprófiros, mas correspondendo a  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2) > 0.3$ . A dispersão dos dados é forte, mas há uma queda dos teores de  $\text{TiO}_2$  com o aumento de  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$ . As biotitas dos lamprófiros picríticos, monchiquitos e camptonitos podem ter mais de 7.5% de  $\text{TiO}_2$ .

As biotitas das rochas básicas a intermediárias (Tabela 3 e Figura 4) diferem daquelas dos lamprófiros pelos teores mais baixos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ca. 11%) e  $\text{TiO}_2$  (< 6.5%). Os valores de  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$  ficam restritos ao intervalo de 0.3-0.7; os teores de  $\text{TiO}_2$  aumentam com o aumento da razão  $\text{Fe}2/(\text{Mg}+\text{Fe}2)$ . Os teores de Cl são mais abundantes nestas rochas (0.1 a 0.4%).

## Espinélios e Ilmenitas

Os espinélios podem ser divididos em dois grupos composicionais principais: espinélios de Fe-Ti (sistema magnetita-ülvoespinélio) e cromoespinélios (sistema cromita-hercinita-magnetita-ülvoespinélio-picrocromita-espinélio-magnesioferrita).

Foram analisados por EDS 27 pontos em cromoespinélios do alnöito, 19 dos biotita lamprófiros, 24 dos lamprófiros picríticos, 14 dos monchiquitos, 22 dos camptonitos e 2 dos tefritos. A Tabela 4a mostra que os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dos núcleos dos cromoespinélios zonados que constituem a matriz do alnöito são altos ( $\geq 30\%$ ), quando comparados com os de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , caracterizando um componente espinélio. Na Figura 5 este fato reflete-se nos valores de Cr# [ $= 100\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ ] da ordem de 23-48. Os teores de FeO e MgO são de mesma ordem de grandeza, fornecendo Mg# da ordem de 66-71. Em direção às bordas, os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  caem à metade, MgO a um terço e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  é muito baixo ou nulo, ao passo que  $\text{TiO}_2$  e principalmente FeO aumentam (Tabela 4b). De fato, estas composições de borda correspondem a espinélios de Fe-Ti, com Mg# < 30.

Os valores de Mg# nos núcleos dos cromoespinélios dos biotita lamprófiros são inferiores àqueles do alnöito (entre 50 e 65). Os teores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  são comparáveis aos do alnöito, mas os de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são mais baixos, resultando em Cr# mais elevados (40 a 70).

As inclusões de cromoespinélio nas olivinas dos lamprófiros picríticos possuem valores de Mg# mais elevados do que aqueles do alnöito. Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são variáveis, mas ainda caracterizam um componente espinélio.

Os valores de Cr# para os cromoespinélios dos camptonitos e monchiquitos assemelham-se àqueles do alnöito (entre 20 e 50). O diagrama Cr# vs. Mg# discrimina um grupo de cromoespinélios cujas composições apontam para uma componente cromita. Estes cromoespinélios não sofreram equilíbrio com o líquido, uma vez que se preservaram como inclusões nas olivinas.

Foram analisados por EDS 3 pontos em espinélios de Fe-Ti do alnöito, 2 dos biotita lamprófiros, 4 dos lamprófiros picríticos, 4 dos monchiquitos, 3 dos camptonitos, 2 dos basaltos, 8 dos traquibasaltos e 2 dos traquiandesitos basálticos (Tabela 5). As ilmenitas analisadas pelo mesmo método perfazem 4 para os basaltos, 10 para os traquibasaltos e 4 para os traquiandesitos basálticos (Tabela 6). A Figura 6 apresenta as composições dos espinélios de Fe-Ti e ilmenitas, plotadas no sistema de Buddington & Lindsley (1964).



**Tabela 4a:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS dos núcleos dos cromespinélos do alnöito, outros lamprófiros e tefritos. Fórmula estrutural calculada com base em 4 átomos de oxigênio e Fe2 e Fe3 conforme FINGER (1972).

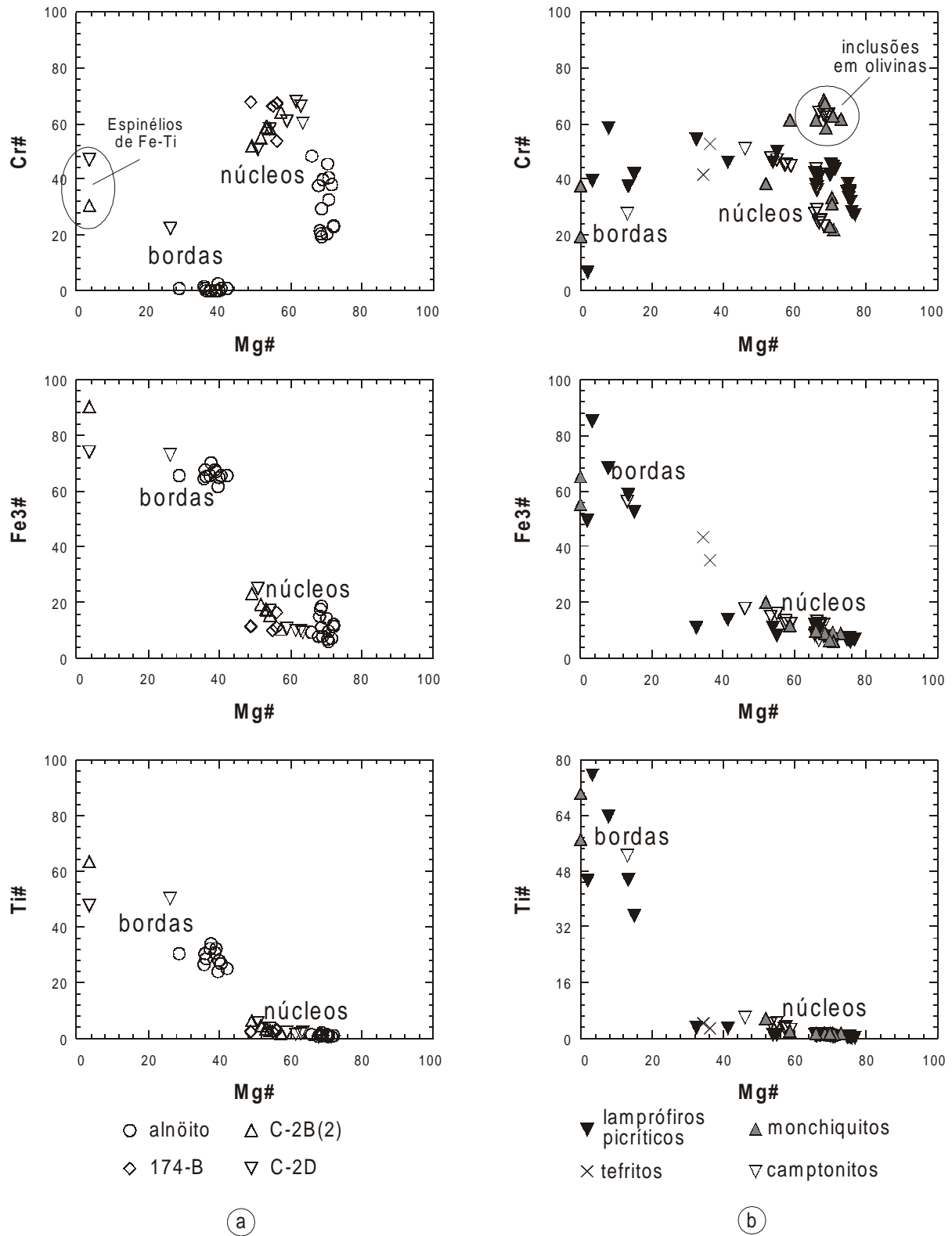
Amostra	A-01-B(1)	A-01-B(1)	PA-8-C2	PA-8-C2	PV-4C	174-B	174-B	C2-B(2)	C2-B(2)	C-2D	C-2D	C-7A	C-7A	CB-7-2A	CB-7-2A	CB-8
Liotipo	Ipier	Ipier	Ipier	Ipier	Ipier	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	campto	campto	campto	campto	campto
% peso	mínimos	máximos	mínimos	máximos	S6	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos
TiO2	0,31	0,98	0,28	0,95	2,09	1,83	2,34	1,4	4,09	1,24	3,47	2,06	4,25	0,93	1,35	0,72
Al2O3	30,02	36,01	25,35	42,33	23,1	14,7	20,66	17,16	18,78	15,02	18,96	20,25	26,09	36,27	39,95	29,5
Cr2O3	28,11	31,9	23,53	38,04	29,8	35,71	47,23	29,4	46,05	27,81	48,02	30,91	32,23	18,26	22,04	28,4
V2O3	0	0,13	0	0,3	0	0,16	0,42	0,15	0,35	0,17	0,44	0	0	0	0,2	0
Fe2O3*	6,47	10,02	5,41	9,27	11,07	8,24	13,94	8,67	18,17	7,84	19,42	10,61	14,07	10,98	12,11	7,6
FeO*	10,39	14,12	10,27	18,21	22,62	17,81	20,11	16,97	21,26	14,7	19,79	17,12	23,04	13,75	14,96	14,2
MnO	0	0,38	0	0,4	0,62	0,31	0,55	0	0,57	0	0,56	0	0,44	0	0,29	0
MgO	15,08	18,16	11,74	19,21	8,9	10,82	13,11	11,59	12,83	11,54	14,34	11,06	13,78	16,05	16,51	15,4
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0,38	0	0	0	0	0	0	0
NiO	0	0,32	0	0,23	0	0	0,25	0	0,29	0	0,22	0	0,28	0	0,34	0
CoO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total*	99,32	101,59	98,44	102,62	98,2	103,53	105,51	101,34	104,73	100,74	103,78	101,05	104,46	101,06	102,98	102,6
Ti	0,007	0,022	0,006	0,022	0,05	0,043	0,053	0,032	0,095	0,029	0,083	0,047	0,097	0,02	0,028	0,01
Al	1,042	1,19	0,894	1,347	0,875	0,544	0,728	0,617	0,672	0,555	0,689	0,727	0,92	1,199	1,316	1,00
Cr	0,652	0,742	0,502	0,9	0,757	0,844	1,141	0,716	1,111	0,696	1,189	0,73	0,757	0,404	0,489	0,63
Fe3	0,136	0,223	0,118	0,217	0,268	0,189	0,313	0,199	0,421	0,182	0,462	0,236	0,322	0,231	0,256	0,16
V	0	0,003	0	0,007	0	0,004	0,01	0,004	0,009	0,004	0,011	0	0	0	0,004	0
Fe2	0,246	0,347	0,233	0,467	0,608	0,453	0,528	0,433	0,548	0,379	0,524	0,43	0,587	0,321	0,351	0,34
Mn	0	0,01	0	0,011	0,017	0,008	0,014	0	0,015	0	0,015	0	0,011	0	0,007	0
Mg	0,665	0,762	0,545	0,772	0,426	0,506	0,584	0,532	0,583	0,544	0,659	0,502	0,617	0,671	0,688	0,66
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0,008	0	0,005	0	0	0,006	0	0,007	0	0,006	0	0,007	0	0,008	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cátions	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mg#	65,93	75,53	53,87	76,81	41,22	48,94	56,20	49,28	57,40	50,96	63,44	46,10	58,92	65,65	68,15	65,7
Cr#	35,40	41,60	27,20	50,20	46,40	53,70	67,70	51,80	64,30	50,90	68,20	44,70	51,00	23,50	29,00	36,2
Fe2#	24,50	34,10	23,20	46,10	58,80	43,80	51,10	42,60	50,70	36,60	49,00	41,10	53,90	31,90	34,40	33,8
Ti#	0,38	1,25	0,32	1,25	2,97	2,49	3,26	1,82	6,43	1,64	5,72	2,75	6,14	1,15	1,63	0,84
Fe3#	9,07	7,37	5,99	11,14	14,11	9,94	16,60	10,33	23,35	25,26	9,48	12,43	17,83	12,24	12,07	8,44

**Tabela 4a (cont.):** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS dos núcleos dos cromespínélos do alhoito, outros lamprófilos e teifitos. Fórmula estrutural calculada com base em 4 átomos de oxigênio e Fe2 e Fe3 conforme FINGER (1972).

Amostra	CB-4-4	CB-4-4	PG-1-5	PG-1-5	PG-3-2	PG-3-2	PV-5C	PV-5C	210-A	210-A	PCa-1	PCa-1
Liotipo	monh	mínimos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	monh	mínimos	alhoite	alhoite	alhoite	máximos
Centro	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos
TiO2	0,84	0,79	1,06	1,54	1,08	1,23	1,12	3,89	0,81	1,34	0,59	1,61
Al2O3	37,71	36,79	17,92	20,44	15,13	19,29	24,5	44,33	32,23	41,35	25,19	42,49
Cr2O3	25,57	27,35	42,31	42,84	45,14	49,3	18,38	22,68	15,17	31,66	13,93	37,37
V2O3	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,28	0	0,2
Fe2O3*	7,22	7,94	7,54	9,8	7,45	8,22	5,63	15,67	7,4	16,46	5,63	17,28
FeO*	12,85	12,78	12,31	16,5	11,09	13,66	12,89	20,09	12,4	14,08	12,12	13,85
MnO	0	0,26	0	0,41	0	0,49	0	0,27	0	0,36	0	0,45
MgO	17,16	17,12	13,12	15,28	14,91	16,65	12,16	17,58	16,39	17,92	14,64	18,35
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0
NiO	0	0,31	0	0	0	0,33	0	0,23	0	0,31	0	0,29
CoO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total*	101,34	103,35	99,89	101,33	101,05	102,53	99,26	100,8	101,29	104,41	98,14	104,93
Ti	0,018	0,016	0,024	0,036	0,025	0,029	0,023	0,091	0,017	0,028	0,013	0,034
Al	1,246	1,202	0,656	0,739	0,554	0,683	0,896	1,437	1,08	1,332	0,91	1,337
Cr	0,567	0,599	1,038	1,039	1,079	1,21	0,4	0,556	0,329	0,711	0,307	0,858
Fe3	0,152	0,166	0,174	0,229	0,174	0,187	0,117	0,366	0,158	0,34	0,121	0,362
V	0	0	0	0,003	0	0	0	0	0	0,006	0	0,005
Fe2	0,301	0,296	0,316	0,429	0,277	0,346	0,297	0,521	0,28	0,326	0,284	0,344
Mn	0	0,006	0	0,011	0	0,013	0	0,007	0	0,008	0	0,012
Mg	0,717	0,707	0,607	0,698	0,672	0,742	0,562	0,721	0,692	0,72	0,668	0,73
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0	0
Ni	0	0,007	0	0	0	0,008	0	0,005	0	0,007	0	0,007
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cátions	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mg#	70,42	70,47	58,63	68,86	66,04	72,79	51,89	70,85	68,00	72,04	66,05	71,96
Cr#	31,30	33,30	58,40	61,30	61,30	68,60	21,80	38,30	20,40	39,70	19,50	48,50
Fe2#	29,60	29,50	31,10	41,40	27,20	34,00	29,20	48,10	28,00	32,00	28,00	33,90
Ti#	0,98	0,88	1,33	2,08	1,39	1,61	1,24	5,90	0,93	1,67	0,71	2,12
Fe3#	7,74	8,44	8,92	11,90	8,96	9,59	5,99	20,13	8,09	17,44	6,20	18,73

**Tabela 4b:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS das bordas dos cromespinélio do alnôito, outros lamprófilos e tefritos. Fórmula estrutural calculada com base em 4 átomos de oxigênio e Fe2 e Fe3 conforme FINGER (1972).

Amostra	A-01-B(1)		A-01-B(1)		PV-4C		C2-B(2)		C-2D		PF-6B		PV-5C		PV-5C		IA-2		IA-2		210-A		210-A		
Litotipo	lpicr	máximos	lpicr	máximos	lpicr	máximos	blamp	pontual	blamp	mínimos	blamp	máximos	campto	pontual	monch	mínimos	monch	máximos	tefrito	mínimos	tefrito	máximos	alhõito	mínimos	Alhõito
% peso	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	
TiO2	15,53	15,69	2,19	15,8	8,59	11,32	13,21	18,33	18,64	20,82	1,51	1,98	7,66	9,64											
Al2O3	1,92	11,18	2,37	19,1	2,22	4,17	6,48	7,63	4,57	5,56	15,6	16,68	11,87	15,74											
Cr2O3	1,25	1,88	5,02	33,94	1,46	2,75	5,55	4,34	1,64	5,03	17,61	25,86	0	0,6											
V2O3	0	0,38	0	0,4	0,36	0,3	0,33	0	0	0,29	0	0	0	0,24											
Fe2O3*	18,4	28,57	8,15	25,49	46,75	35,24	35,73	21,22	16,66	17,23	28,15	34,24	40,37	44,02											
FeO*	41,64	44,24	24,45	38,83	36,83	33,09	40,12	42,73	46,77	47,99	24,35	25,38	24,85	31,14											
MnO	0	0	0,7	1,01	0,73	0,53	0,76	0,77	0,79	1,07	0,42	0,44	0,43	0,78											
MgO	0,51	0,78	1,74	6,6	0,75	0,84	6,6	3,61	0	0	7,43	7,75	7,05	10,15											
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36											
NiO	0	0	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3											
CoO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Total*	90,32	91,65	83,28	97,42	97,69	98,43	98,59	98,62	93,04	94,03	103,66	103,74	101,75	104,18											
Ti	0,455	0,481	0,056	0,521	0,248	0,318	0,352	0,493	0,544	0,617	0,036	0,048	0,187	0,235											
Al	0,093	0,508	0,123	0,766	0,1	0,184	0,271	0,321	0,212	0,254	0,59	0,631	0,453	0,6											
Cr	0,038	0,061	0,174	0,913	0,044	0,077	0,164	0,123	0,051	0,154	0,447	0,656	0	0,015											
Fe3	0,533	0,885	0,209	0,695	1,349	0,94	1,005	0,571	0,494	0,503	0,68	0,827	0,992	1,073											
V	0	0,012	0	0,014	0,011	0,009	0,01	0	0	0,009	0	0	0	0,006											
Fe2	1,425	1,433	0,696	1,369	1,181	0,981	1,255	1,277	1,518	1,581	0,654	0,681	0,675	0,863											
Mn	0	0	0,02	0,031	0,024	0,017	0,023	0,023	0,026	0,036	0,011	0,012	0,012	0,022											
Mg	0,029	0,048	0,114	0,335	0,043	0,047	0,349	0,192	0	0	0,355	0,371	0,348	0,491											
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,009											
Ni	0	0	0	0,007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,008											
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
Total Cátions	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3											
Mg#	2,01	3,23	7,67	32,48	3,50	3,60	26,22	13,09	0,00	0,00	34,28	36,19	28,75	42,12											
Cr#	7,00	39,60	37,60	58,70	30,60	22,20	47,20	27,60	19,40	37,80	41,50	52,60	0,00	2,50											
Fe2#	96,80	98,00	67,50	92,30	96,50	73,80	96,40	86,90	100,00	100,00	63,80	65,70	57,90	71,30											
Ti#	45,45	75,75	3,23	63,69	63,27	47,75	50,29	52,61	57,14	70,11	2,81	4,26	24,17	34,16											
Fe3#	49,40	85,18	11,07	68,54	90,35	72,98	74,28	56,26	55,21	65,26	35,31	43,41	61,73	70,31											



**Figura 5:** Variações de Cr#, Fe3#, Ti# e Mg# nos núcleos (Tabela 4a) e bordas (Tabela 4b) dos cromoespinélios. (a) alnöite e biotita lamprófiros. (b) outros lamprófiros e tefritos.

**Tabela 5:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS dos espinelhos de Fe-Ti do alnöito, lamprófiros e rochas básicas a intermedeárias. Fórmula estrutural calculada com base em 32 átomos de oxigênio e Fe2 e Fe3 conforme FINGER (1972).

Amostra	PCa-1(2)	PCa-1(2)	174-B	174-B	A-01-B(1)	PV-4C	PV-4C	PG-1-3	PG-3-2	PG-3-2	PG-3-2	CB-7-2A	PF-6B	PF-
Litotipo	alnöito	alnöito	blamp	blamp	Ipier	Ipier	Ipier	monch	monch	monch	monch	campto	campto	can
% peso	mínimos	máximos	mínimos	máximos	pontual	mínimos	máximos	pontual	mínimos	máximos	máximos	pontual	mínimos	máx
TiO2	11,69	13,24	10,41	11,7	16,77	16,9	18,35	15,18	12,44	13,18	5,86	21,3	21,3	21,
Al2O3	4,52	10,76	1,61	2,35	7,73	3,77	4,62	9,12	9,8	10,16	4,72	5,8	5,8	5,4
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0,95	0	0	0,22	0	0	0	(
Fe2O3*	39,33	40,47	44,38	48,18	23,67	26,06	30,72	28,20	31,34	35,23	51,73	19,94	19,94	20,
V2O3	0,21	0,37	0,56	0,58	0,22	0	0,35	0	0	0	0	0	0	(
Nb2O5	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	(
FeO*	32,09	38,81	40,23	42,59	46,37	41,33	43,68	46,26	40,24	43,41	36,61	46,54	46,54	49,
MnO	1,28	2,03	0,35	0,85	0	1,14	1,22	0,16	0	0,46	0	1	1	1,4
MgO	2,3	7,06	0	0,31	0	1,65	2,45	0	0,87	2,74	0	1,41	1,41	1,4
CaO	0,18	0,29	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,42	0	0	(
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(
NiO	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0	0	0	0	0	(
Total*	101,51	103,18	101,95	102,28	94,76	95,45	97,68	98,92	99,02	101,16	99,33	96,97	96,97	99,
Ti	2,343	2,861	2,308	2,596	3,856	3,784	4,214	3,333	2,667	2,864	1,323	4,751	4,751	4,7
Al	1,531	3,381	0,560	0,817	2,787	1,323	1,627	3,139	3,234	3,415	1,670	2,030	2,030	2,0
Cr	0	0	0	0	0	0	0,22366	0	0	0,050	0	0	0	(
Fe3	7,888	8,661	9,854	10,691	5,447	5,989	6,884	6,196	6,815	7,423	11,684	4,452	4,452	4,4
V	0,045	0,085	0,132	0,137	0,054	0	0,086	0	0	0	0	0	0	(
Nb	0	0	0	0	0	0	0,02692	0	0	0	0	0	0	(
Fe2	7,152	9,328	9,920	10,510	11,857	10,293	11,153	11,294	9,420	10,490	9,189	11,557	11,557	11,4
Mn	0,290	0,494	0,087	0,212	0	0,288	0,310	0,040	0	0,109	0	0,246	0,246	0,3
Mg	0,985	2,804	0	0,136	0	0,751	1,087	0	0,375	1,143	0	0,610	0,610	0,8
Ca	0,052	0,083	0	0,041	0	0	0	0	0	0	0,135	0	0	(
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(
Ni	0	0	0	0	0	0	0,05029	0	0	0	0	0	0	(
Total Cations	24	24	24	24	24,001	23,960	24,001	24,001	24,001	24,001	24	24	24	2
Úlvo	29,57	36,30	29,68	33,31	48,542	47,3038	53,2082	41,6596	33,3422	35,8019	16,53	59,38	59,38	59,
São Paulo	9,57	21,13	3,50	5,11	17,4156	9,35932	10,1707	19,6173	20,2138	21,605	10,44	12,69	12,69	12,
Mt	49,30	54,13	61,58	66,82	34,0424	37,4325	43,0274	38,7231	42,5931	46,3913	73,03	27,83	27,83	27,

**Tabela 5 (cont.):** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS dos espinelos de Fe-Ti do alnóito, lamprófitos e rochas básicas a intermediárias. Fórmula estrutural calculada com base em 32 átomos de oxigênio e Fe2 e Fe3 conforme FINGER (1972).

Amostra	IA-7-B	IA-7-B	IA-7-B	B-3-A2	B-3-A2	B-3-E	B-3-E	IA-3-A	IA-3-A	PB-1-6	PB-1-6
Liotipo	basalto	basalto	basalto	traquib	traquib	traquib	traquib	traquib	traquib	bastran	bastran
% peso	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos	mínimos
TiO2	15,42	16,37	10,93	11,8	13,29	16,13	2,25	4,43	23,83	26,87	26,87
Al2O3	0,8	0,95	1,34	3,21	0,38	2,29	0,59	1,51	2,27	3,2	3,2
Cr2O3	0	0	0	0	0,24	0,33	0	0,21	0	0	0
Fe2O3*	33,60	35,96	39,50	41,60	30,16	35,92	59,22	63,33	12,08	16,06	16,06
V2O3	0,75	0,79	0,4	0,72	0,34	0,6	0	0	0	0,67	0,67
Nb2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO*	43,77	44,70	39,65	41,15	41,64	42,87	32,38	35,27	48,58	52,76	52,76
MnO	0,88	1,08	0,25	0,39	0,28	0,48	0	0,23	1,54	1,72	1,72
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,48	1,18	1,18
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0,22	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48	0,48
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total*	97,26	97,82	94,40	97,08	94,43	90,56	98,88	101,09	95,54	96,18	96,18
Ti	3,580	3,815	2,603	2,786	3,173	4,044	0,523	1,002	5,489	6,196	6,196
Al	0,291	0,347	0,496	1,198	0,149	0,857	0,215	0,536	0,821	1,155	1,155
Cr	0	0	0	0	0,063	0,087	0	0,050	0	0	0
Fe3	7,837	8,354	9,360	9,830	7,567	8,581	13,410	14,738	2,787	3,702	3,702
V	0,186	0,196	0,101	0,183	0,091	0,153	0	0	0	0,165	0,165
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	11,298	11,585	10,499	10,721	11,056	11,965	8,373	8,874	12,443	13,531	13,531
Mn	0,231	0,282	0,066	0,105	0,079	0,136	0	0,059	0,400	0,447	0,447
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0,152	0,219	0,539	0,539
Ca	0	0	0	0	0	0	0	0,071	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,109	0,109
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cátions	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Úlvo	45,97	48,85	33,68	35,46	40,62	51,21	6,54	12,53	69,64	77,46	77,46
Sp	1,82	2,17	3,10	7,49	1,48	5,75	1,34	3,66	5,13	7,22	7,22
Mt	48,98	52,21	58,50	61,44	47,29	53,63	83,81	92,12	17,42	23,14	23,14



**Tabela 6:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS das ilmenitas das rochas básicas a intermediárias. Fórmula estrutural calculada com base em 3 átomos de oxigênio e Fe2 e Fe3 conforme GRIFFIN et al. (1991).

Amostra	IA-7-A	IA-7-B	B-3-A2	B-3E	IA-3-A	IA-3-A	PB-1-6	MV-1-A	MV-1-A
Litotipo	basalto	basalto	traquib	traquib	traquib	traquib	traquib	bastran	bastran
% peso	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	II	mínimos	máximos
TiO2	48,37	51,73	48,03	51,19	49,23	49,78	48,27	50,67	51,42
Al2O3	0	0,14	0	0,29	0	0	0	0	0
Cr2O3	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0
Fe2O3*	1,83	3,55	0,66	4,05	3,47	4,13	3,94	1,51	2,3
V2O3	0	0	0	0,42	0	0	0	0	0
Nb2O5	0	0,26	0	0,2	0	0	0	0	0
FeO*	46,40	48,74	41,76	44,83	47,73	48,13	47,09	47,33	48,03
MnO	0,7	0,93	0,44	3,55	0,95	1,08	1,62	0,66	1,25
MgO	0	0,18	0	4,02	0,35	0,56	0	0	0
CaO	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total*	98,75	103,31	96,62	104,07	102,41	103,17	100,92	100,61	102,97
Ti	0,932	0,961	0,914	0,984	0,919	0,935	0,924	0,957	0,971
Al	0	0,004	0	0,009	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0,003	0	0	0
Fe3	0,036	0,068	0,013	0,076	0,065	0,077	0,076	0,029	0,043
V	0	0	0	0,008	0	0	0	0	0
Nb	0	0,003	0	0,002	0	0	0	0	0
Fe2	1,001	1,007	0,877	0,931	0,997	1	1,003	0,995	1,003
Mn	0,015	0,02	0,009	0,079	0,02	0,023	0,035	0,014	0,026
Mg	0	0,007	0	0,149	0,013	0,021	0	0	0
Ca	0	0,003	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total cations	2,016	2,034	2,008	2,042	2,033	2,04	2,038	2,014	2,022
Hem	3,56	6,84	1,3	7,57	6,52	7,72	7,56	2,86	4,33
XTiO3	93,17	96,14	91,41	98,37	91,94	93,48	92,44	95,67	97,14
Ilm	91,00	94,72	77,48	90,66	88,32	90,22	89,32	93,33	95,80
Pyr	1,41	1,86	0,79	7,71	1,77	2,08	3,12	1,34	2,44
Geik	0,00	0,63	0,00	13,10	1,18	1,85	0,00	0,00	0,00

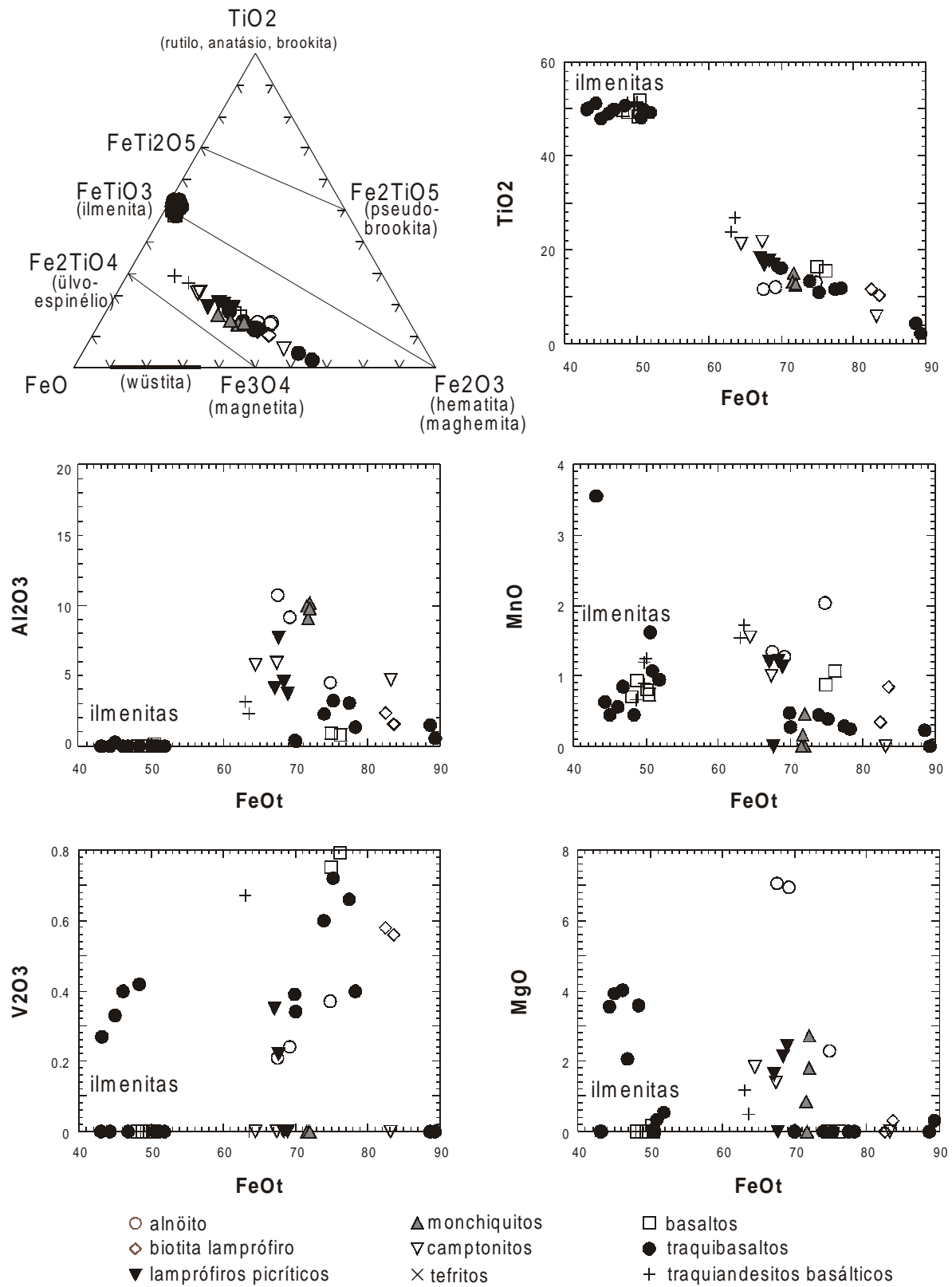


Figura 6: Variações composicionais dos espinélios de Fe-Ti (Tabela 5) e ilmenitas (Tabela 6) dos diques máficos da área de estudo.

As composições das ilmenitas das rochas básicas a intermediárias agrupam-se no vértice  $\text{FeTiO}_3$  do triângulo  $\text{FeO}$ -ilmenita-hematita, enquanto aquelas dos espinélios de  $\text{Fe-Ti}$  plotam ao longo de uma linha paralela a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$  (série magnetita-ülvoespinélio<sub>ss</sub>), composta por titanomagnetitas. Estas titanomagnetitas estão oxidadas, como mostra o desvio da composição em direção ao vértice  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Segundo Haggerty (1991), um dos mecanismos de oxidação da titanomagnetita ocorre a pressões baixas a moderadas e acima dos  $600^\circ\text{C}$ , resultando na exsolução dos minerais óxidos da série hematita-ilmenita<sub>ss</sub>. Em uma amostra de traquibasalto do dique da Ponta do Bonete (ponto B3 na Figura 1), lamelas de ilmenita (“menos brilhantes” na imagem do MEV) de composição  $\text{Ilm}_{82}\text{Geik}_{12}\text{Hm}_5\text{Pyp}_1$  foram encontradas cruzando um grão muito fino ( $0.35\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ ) de espinélio de  $\text{Fe-Ti}$  com composição  $\text{Ülv}_{34}\text{Mt}_{59}\text{Sp}_7$ , seguindo o intercrescimento em treliça (Haggerty op. cit.). Utilizando o diagrama  $f_{\text{O}_2}$ - $T$  de Buddington & Lindsley (1964), obtêm-se uma temperatura de  $740^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$  e  $\log_{10}f_{\text{O}_2}$  (atm) de  $-16 \pm 2$  para aquelas composições (valores confirmados pelo geotermômetro de Powell & Powell, 1977), que representam condições do solvus.

A Figura 6 mostra também as variações dos teores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  e  $\text{MgO}$  como função de  $\text{FeO}_t$  nos espinélios de  $\text{Fe-Ti}$  e ilmenitas dos vários tipos litológicos. As composições são separadas por um campo  $53\% < \text{FeO}_t < 62\%$  e apenas as rochas básicas a intermediárias apresentam ilmenitas típicas, com  $\text{TiO}_2 > 47\%$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 0\%$ .

Nos basaltos, traquibasaltos e traquiandesitos basálticos, os espinélios de  $\text{Fe-Ti}$  e ilmenitas apresentam as maiores variações nos teores de  $\text{FeO}_t$ , que se correlacionam com os teores de  $\text{TiO}_2$ , ou seja, ocorrem tanto ilmenitas como titanomagnetitas. Por outro lado, os valores de  $\text{FeO}_t$  dos espinélios de  $\text{Fe-Ti}$  dos lamprófiros e alnöito estão compreendidos por um intervalo mais restrito, de 60 a 75%, à exceção dos biotita lamprófiros. Apesar de contar-se com apenas duas análises,  $\text{FeO}_t$  limita-se ao intervalo 80-85%.

Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são os mais elevados no alnöito e nos monchiquitos, seguidos dos camptonitos e lamprófiros picríticos; os mais baixos correspondem aos biotita lamprófiros (ca. 2%). Nas rochas básicas a intermediárias, estes valores são inferiores a 3%.

Os teores de  $\text{MnO}$  variam, mas parecem diminuir para os espinélios de  $\text{Fe-Ti}$  dos traquibasaltos, com o aumento de  $\text{FeO}_t$ .

Os teores de  $\text{MgO}$  variam, estando ausentes na maioria das análises. Os mais elevados são encontrados nos espinélios de  $\text{Fe-Ti}$  (7%) do alnöito. Em algumas ilmenitas dos traquibasaltos,  $\text{MgO}$  é  $\geq 4\%$ .

## Olivinas

As análises de olivinas por EDS perfazem 9 para os biotita lamprófiros, 14 para os lamprófiros picríticos, 5 para os monchiquitos, 9 para os camptonitos e 10 para os tefritos. As análises correspondem aos núcleos preservados das olivinas parcialmente pseudomorfizadas e estão representadas na Figura 7.

As composições são forsteríticas, concentrando-se no intervalo  $72 < \text{Mg\#} < 88$ , exceto para o tefrito IA-2, para o qual  $46 < \text{Mg\#} < 68$  (Tabela 7).

Com base em Edgar (1987), a condição de geração de basanitos, nefelinitos e melilitos (i.e.  $P = 15\text{ kb}$ ) foi escolhida de forma a se aplicar os geotermômetros olivina-espinélio (Fabriès, 1979; Roeder *et al.*, 1979 e Ballhaus *et al.*, 1991) a este estudo. A Tabela 8 apresenta as temperaturas e coeficientes de distribuição fornecidos pelo programa PTMAFIC (Soto-Hermoso, 1992), usando as composições de algumas olivinas e suas inclusões de espinélio. Exceto para as amostras A-01-B e IA-2, as temperaturas caem no intervalo  $1000^\circ\text{C}$ - $1200^\circ\text{C}$ .

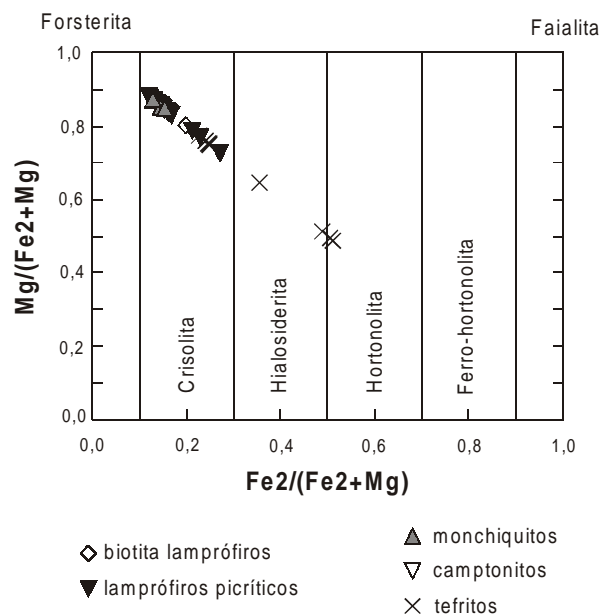


Figura 7: Composições das olivinas dos lamprófiros e tefritos (Tabela 7).

**Tabela 7:** Valores mínimos e máximos obtidos nas análises por EDS das porções não alteradas das olivinas dos lamprófiros. Fórmula estrutural calculada com base em 4 átomos de oxigênio.

Amostra	174	174-B	C-2B(2)	A-01-B(1)	A-01-B(1)	PV-4C	PV-4C	CB-4-4	CB-4-4	PV-5C	PV-5C	C-7A	C-7A	PF-6B	PF-6B	IA-2
Litotipo	blamp	blamp	blamp	blamp	blamp	lpcr	lpcr	monch	monch	monch	monch	campto	campto	campto	campto	tefito
% peso	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos	mínimos	máximos
SiO <sub>2</sub>	40,15	41,69	54,3	57,17	40,54	41,45	39,36	42,42	40,99	41,01	40,74	40,93	40,42	41,2	39,21	35,04
TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0,2	1,76	3,38	0	0	0	6,03	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	12,95	15,01	8,01	10,14	11,33	14,14	11,29	21,22	12,22	12,28	12,07	14,22	13,17	14,85	15,2	20,74
MnO	0	0,22	0	0	0	0,15	0	0,24	0	0	0	0,14	0	0,22	0	0,2
MgO	44,96	47,47	23,01	24,84	45,3	47,69	23,85	46,84	46,83	46,86	44,52	46,42	44,16	46,07	43,36	22,96
CaO	0	0	0,37	0,81	0,12	0,22	0	0,39	0,22	0,3	0,09	0,24	0	0,21	0	0,11
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0,08	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0
NiO	0	0,26	0,27	0,29	0	0,3	0	0,23	0	0,19	0	0	0	0,35	0	0
CoO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99,66	103,46	91,93	92,62	98,65	101,51	78,04	100,86	100,28	100,62	99,61	100,25	99,75	101,05	97,77	99,16
Si	1,003	1,011	1,371	1,412	1,005	1,013	1,006	1,302	1,009	1,011	1,014	1,019	1,006	1,02	1,005	1,007
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0,006	0,051	0,101	0	0	0	0,201	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sub>2</sub>	0,262	0,304	0,165	0,214	0,235	0,294	0,236	0,454	0,252	0,253	0,25	0,297	0,273	0,312	0,326	0,333
Mn	0	0,005	0	0	0	0,003	0	0,005	0	0	0	0,003	0	0,005	0	0,004
Mg	1,674	1,713	0,866	0,914	1,68	1,745	1,046	1,737	1,718	1,72	1,659	1,716	1,652	1,698	1,657	1,66
Ca	0	0	0,01	0,022	0,003	0,006	0	0,012	0,006	0,008	0,002	0,006	0	0,006	0	0,003
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0,003	0	0	0	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0,005	0,005	0,006	0	0,006	0	0,005	0	0,004	0	0	0	0,007	0	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cations	2,989	2,996	2,563	2,579	2,987	2,995	2,7	2,994	2,989	2,991	2,981	2,986	2,98	2,994	2,993	2,993
Mg#	84,53	86,72	80,17	84,68	84,97	88	72,85	88,01	87,18	87,23	84,8	87,14	83,97	86,13	83,29	83,56
Fe#	13,28	15,32	15,32	19,83	11,85	14,88	11,99	27,15	12,77	12,82	12,71	15,2	13,87	15,85	16,44	16,71

**Tabela 8:** Geotermômetros olivina-espinélio (*in*: Soto-Hermoso, 1992) aplicados às inclusões de cromoespinélio nas olivinas.

Amostra		ln KD	FABRIÈS		ROEDER	BALLHAUS
			(1979)		<i>et al.</i>	<i>et al.</i>
			T (°C)	ln KD	(1979)	(1991)
C-7A	camptonito	1,452	1075	0,942	1015	1016
C-7A	camptonito	1,444	1107	0,893	1039	1040
CB-4-4	monchiquito	1,053	1140	0,73	1221	1099
A-01-B(1)	lamprófiro picrítico	1,05	1259	0,654	1350	1209
A-01-B(1)	lamprófiro picrítico	0,758	1394	0,473	1662	1400
174-B	biotita lamprófiro	1,485	1196	0,821	1102	1105
IA-2	tefrito	1,734	1570	0,322	1080	1077
IA-2	tefrito	1,819	1891	0,082	1016	1053

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução das rochas aqui consideradas está refletida no quimismo dos minerais máficos e óxidos, que as separa nos três grandes grupos: rochas básicas a intermediárias; lamprófiros picríticos, monchiquitos, camptonitos e tefritos; biotita lamprófiros e alnöito.

Os piroxênios do alnöito, seguidos dos lamprófiros picríticos, camptonitos, monchiquitos e biotita lamprófiros, são ricos em Ca (componente Wo entre 45%-60%). No caso do específico do alnöito, os piroxênios são pobres em Si. Para alguns biotita lamprófiros e lamprófiros picríticos, os teores de FeO dos piroxênios são relativamente altos (componente Fs até 27%). Para as rochas básicas a intermediárias, as composições dos piroxênios caem nos campos da augita (e pigeonita) do diagrama Quad, indicando temperaturas mínimas de cristalização da ordem de 1000°C-1100°C.

As biotitas zonadas do alnöito e de alguns biotita lamprófiros possuem núcleos flogopíticos. Nas flogopitas do alnöito, Al não apenas substitui Si, mas também K, uma vez que existe uma certa deficiência deste elemento. Nos demais lamprófiros, Al também substitui Si, e os teores mais elevados de FeO as classificam como biotitas.

Os teores de Al são relativamente altos nas biotitas, cromoespinélios e espinélios de Fe-Ti dos monchiquitos, camptonitos e lamprófiros picríticos e nas bordas dos cristais zonados.

Os biotita lamprófiros são caracterizados pelos teores mais baixos de Al nos cromoespinélios e espinélios de Fe-Ti e, até certo ponto, nas biotitas. Por outro lado, K é mais elevado nas biotitas e Cr nos núcleos dos cromoespinélios.

A química mineral também atesta os diferentes caminhos evolutivos das rochas que compõem os diques. Nos lamprófiros alcalinos observa-se um enriquecimento em Fe (e Ti) dos núcleos para as bordas dos piroxênios, biotitas, cromoespinélios e espinélios de Fe-Ti.

As tendências composicionais distintas observadas nos minerais máficos e óxidos dos lamprófiros alcalinos e das rochas básicas a intermediárias indicam fontes mais primitivas para os primeiros e algo mais evoluídas para os últimos.

O alnöito e os biotita lamprófiros mostram uma afinidade mais carbonatítica, enquanto camptonitos, monchiquitos e lamprófiros picríticos podem ter evoluído de basaltos alcalinos, sendo os tefritos uma variedade mais pobre em biotita/flogopita e anfibólio (kaersutita), ou seja, menos “hidratada”.

As rochas básicas a intermediárias têm afinidade com as rochas basálticas da Bacia do Paraná.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. David I. Groves e ao Dr. Brendon J. Griffin pela disponibilização do microscópio eletrônico de varredura JEOL 6400 do Centre for Microscopy and Microanalysis da Universidade de Western Australia; à Prof. Suzanne Y. O'Reilly e ao Dr. N. Pearson pela permissão e uso da microsonda eletrônica CAMECA SX 50 da School of Earth Sciences (Universidade de Macquarie), à CAPES, pela bolsa PDEE (Proc. 1798/93), e aos relatores anônimos pelas valiosas críticas e sugestões que aprimoraram o manuscrito original.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. (1981) **Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000** - nota explicativa. São Paulo, IPT-DMGA. v.1. (Monografia IPT, n. 6).
- BALLHAUS, C.; BERRY, R.F.; GREEN, D.H. (1991) High pressure experimental calibration of the olivine orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 107, p. 27-40.
- BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C.R.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E.M.; CAVAZZINI, G.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G. (1990) Early and Late Cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): geochemistry and petrology. **Geochimica Brasiliensis**, v. 4, n.1, p.59-83.
- BUDDINGTON, A.F.; LINDSLEY, D.H. (1964) Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. **Journal of Petrology**, v. 5, p. 310-357.
- CASTRO, H.O.; ROCHA, R.L.S.; SPERLING, E.V.; BALTAZAR, O.F. (1984) Geologia das folhas Mangaratiba, Ilha Grande, Cunhambebe, Angra dos Reis, Rio Mambucaba/Campos da Cunha, Parati, Cunha, Picinguaba e Juatinga, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**. Rio de Janeiro, SBG. v. 5, p. 2355-2367.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; RIVALENTI, G. (1983) High-TiO<sub>2</sub> basaltic dikes in the coastline of São Paulo and Rio de Janeiro States (Brazil). **Neues Jahrbuch für der Mineralogie. Abhandlungen**, v. 146, n. 2, p. 133-150.
- COUTINHO, J.M.V.; ENS, H.H. (1992) Diques lamprofíricos e diferenciados carbonatíticos da região de São Sebastião e Itanhaém - SP (resultados preliminares). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, SBG. p. 512-513.
- COUTINHO, J.M.V.; ENS, H.H.; RODRIGUES, E.P.; TASSINARI, C.C.G. (1991) Mafic dyke swarms in the northern coast of São Paulo, Brazil (a preliminary report). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MAFIC DYKES, São Paulo, 1991. **Extended Abstracts**. São Paulo, IG-USP/SBGq. p. 111-115.
- DAMASCENO, E.C. (1966) Estudo preliminar dos diques de rochas básicas e ultrabásicas da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 38, n. 2, p. 293-304.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1992) **An introduction to the rock-forming minerals**. 2.ed. Harlow, Longman. 696p.
- EDGAR, A.D. (1987) The genesis of alkaline magmas with emphasis on their source regions: inferences from experimental studies. In: FITTON, J.G.; UPTON, B.G.J. (eds.). **Alkaline igneous rocks**. Oxford, Blackwell.. p. 29-52. (Geological Society Special Publications, n.30).
- ERNST, R.E.; BUCHAN, K.L.; PALMER, H.C. (1995) Giant dyke swarms: characteristics, distribution and geotectonic applications. In: BAER, G. ; HEIMANN, A. **Physics and chemistry of dykes**. Rotterdam. A.A. Balkema, p. 3-21.
- FABRIÉS, J. (1979) Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 69, p. 329-336.
- FINGER, L.W. (1972). The uncertainty in the calculated ferric iron content of a microprobe analysis. **Carnegie Institution of Washington Yearbook**, v. 72, p. 600-603.
- FREITAS, R.O. (1947) Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. **Boletim Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Universidade de São Paulo. Série Geologia**, n. 85, p.1-244.
- FREITAS, R.O. (1976) Definição petrológica, estrutural e geotectônica das cintas orogênicas antigas do litoral norte do Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Geológico**, n. 1, p. 1-176.
- GARDA, G.M. (1994) Diques máficos da região costeira entre São Sebastião e Ubatuba. In: SEMINÁRIO ANUAL DO INSTITUTO GEOLÓGICO, 1, São Paulo, 1994. **Boletim de Resumos**. São Paulo, IG-SMA/CITDPA. p.79.
- GARDA, G.M. (1995) **Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo**. São Paulo, 2v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GARDA, G.M. (1996) Os piroxênios dos diques máficos e ultramáficos do litoral entre São Sebastião e Ubatuba, SP. **Geochimica Brasiliensis**, v.10, n. 2, p. 297-323.



- GARDA, G.M.; SCHORSCHER, H.D. (1994) Os diques máficos e ultramáficos da região costeira entre São Sebastião e Ubatuba, São Paulo, SP. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camburiú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camburiú, SBG, v. 3, p. 62-63.
- GARDA, G.M.; SCHORSCHER, J.H.D. (1996) Os diques costeiros básicos e ultrabásicos adjacentes ao Canal de São Sebastião (Litoral Norte do Estado de São Paulo). **Revista do IG**, v. 17, n. 1/2, p. 7-31.
- GARDA, G.M.; JULIANI, C.; SCHORSCHER, J.H.D.; NEUMANN, R.; BOHLAND NETO, F. (1992) Vulcanismo recorrente e feições geológicas afins em diques básico-ultrabásicos da Praia Vermelha do Sul, Município de Ubatuba/SP. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, n. 12, p. 45-46.
- GARDA, G.M.; ESPERANÇA, S.; CARLSON, R.W. (1994a) The petrology and geochemistry of coastal dikes from São Paulo State, Brazil: implications for variable lithospheric contributions to alkaline magmas from the western margin of the South Atlantic. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE UPPER MANTLE, São Paulo, 1994. **Extended Abstracts**. São Paulo, CPRM/FAPESP, p. 62-64.
- GARDA, G.M.; SCHORSCHER, H.D.; WALDRON, H.; EGGINS, S. (1994b). Trace-element characteristics of the lamprophyric dykes from the north coast of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE UPPER MANTLE, São Paulo, 1994. **Extended Abstracts**. São Paulo, CPRM/FAPESP, p. 106-107.
- GOMES, C.B. (1973). Comportamento dos feldspatos do dique de diabásio de Toninhas, Ubatuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju, 1973. **Anais**. Aracaju, SBG. Boletim 1, p. 75.
- GOMES, C.B. (1974) Mineralogia do dique de Toninhas, Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo: Feldspatos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 4, p. 80-87.
- GOMES, C.B.; RUBERTI, E. (1979) Mineralogia do dique de Toninhas, Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo: Piroxênios. **Boletim Mineralógico**, v. 6, p. 55-66.
- GOMES, C.B.; BERENHOLC, M. (1980) Some geochemical features of the Toninhas dyke, Ubatuba, State of São Paulo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, p.339-346.
- GRIFFIN, B.J.; MUHLING, J.R.; CARROLL, G.W.; ROCK, N.M.S. (1991) RECALC2: A package for processing mineral analyses produced by electron microprobe. **American Mineralogist**, v. 76, p. 295-298.
- HAGGERTY, S.E. (1991) Oxide textures - a mini-atlas. **Reviews in Mineralogy**, v. 25, p.129-218.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S.; SANTOS, M.C.S.R. (1978) **Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo**. IPT/DMGA. 78p. (Monografia IPT, 1)
- HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; MORALES, N. (1994) Geologia do Pré-Cambriano. In: FALCONI, F.F.; NEGRO JR., A. (eds.) **Solos do Litoral de São Paulo**. São Paulo, ABMS-NRSP, p. 39-67.
- HAWKESWORTH, C.J.; GALLAGHER, K.; KELLEY, S.; MANTOVANI, M.; PEATE, D.W.; REGELOUS, M.; ROGERS, N.W. (1992) Paraná magmatism and the opening of the South Atlantic. In: STOREY, B.C.; ALABASTER, T.; PANKHURST, R.J. (eds.) **Magmatism and the causes of continental break-up**. London, Geological Society. p. 221-240. (Geological Society Special Publication, v.68).
- LE MAITRE, R.W. (ed.) (1989) **Classification of igneous rocks and glossary of terms**. Oxford, Blackwell. 193p.
- LINDSLEY, D.H. (1983) Pyroxene thermometry. **American Mineralogist**, v. 68, p. 477-493.
- MORIMOTO, N. (1988) Nomenclature of pyroxenes. **American Mineralogist**, v. 73, p. 1123-1133.
- PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMINCHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NARDY, A.J.R.; PACCA, I.G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. (1988) Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In: MACDOUGALL, J.D. (ed.) **Continental flood basalts**. Dordrecht, Kluwer. 341p.
- POWELL, R.; POWELL, M. (1977) Geothermometry and oxygen barometry using coexisting iron-titanium oxides: A reappraisal. **Mineralogical Magazine**, v. 41, p. 257-263.
- REGELOUS, M. (1993) **Geochemistry of dolerites from the Paraná flood basalt province, Southern Brazil**. Milton Keynes, England, 256p. PhD Thesis - Open University.

- RICHARD, L.R. (1995) **MINPET version 2.02 - Mineralogical and petrological data processing system for windows**. Quebec (Canadá).
- ROCK, N.M.S. (1991) **Lamprophyres**. Glasgow, Blackie. 285p.
- ROCK, N.M.S.; CARROLL, G.W. (1990) MINTAB: a general purpose mineral recalculation and tabulation program for Macintosh microcomputers. **American Mineralogist**, v. 75, p. 424-430.
- ROEDER, P.L., CAMPBELL, J.H.; JAMIESON, H.E. (1979) A re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 68, p. 325-334.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (Coord.) (1984) **Geologia do Brasil**: texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000 Brasília, MME-DNPM, 501p.
- SILVA, A.T.S.F.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K.; PINTO FILHO, W.D. (1977) **PROJETO Santos-Iguape**: geologia. São Paulo, DNPM/CPRM. v. 1.
- SOTO-HERMOSO, J.I. (1992) **PTMAFIC v. 1.0**: program for geothermometric and geobarometric calculations. España, Departamento Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidade de Granada.

## APÊNDICE

Após o cálculo da fórmula estrutural dos minerais, foram obtidos os parâmetros apresentados no texto, nas tabelas e nas figuras como se segue:

### Biotitas:

Fórmula estrutural calculada com base em 11 átomos de oxigênio;  
 $Al^{IV}$  calculado pelo programa MINPET (Richard, 1995) como 8-Si, estando a soma de Si, Al, Ti, Cr, Ni, Fe<sup>2</sup>, Mn e Mg normalizada para 14 cátions;  
 $Fe2 = Fe2/(Mg+Fe2)$

### Cromoespinélios:

Fórmula estrutural calculada com base em 4 átomos de oxigênio;  
 Fe2 e Fe3 calculados segundo Finger (1972);  
 $Mg\# = 100 \text{ Mg}/(Mg+Fe2)$   
 $Cr\# = 100 \text{ Cr}/(Cr+Al)$   
 $Fe2\# = 100 \text{ Fe}/(Mg+Fe2)$   
 $Ti\# = 100 \text{ Ti}/(Ti+Al \text{ Cr})$   
 $Fe3\# = 100 \text{ Fe3}/(Al+Cr+Fe3)$

### Espinélios de Fe-Ti:

Fórmula estrutural calculada com base em 32 átomos de oxigênio;  
 Fe2 e Fe3 calculados segundo Finger (1972);  
 Moléculas Ülvo, Sp e Mt calculada com base em 4 átomos de oxigênio:  
 $Ülvo = 100 (Ti+V/2)$   
 $Sp = 100 [(Al+Cr)/2]$   
 $Mt = 100 (Fe3)/2$

### Ilmenitas:

Fórmula estrutural calculada com base em 3 átomos de oxigênio;  
 Fe2 e Fe3 calculados segundo Griffin *et al.* (1991);  
 $Hem = Fe3 . 100$   
 $XTiO3 = Ti . 100$   
 $Ilm = Fe2 . XTiO3/(Fe2+Mn+Mg)$   
 $Pyr = Mn . XTiO3/(Fe2+Mn+Mg)$   
 $Geik = Mg . XTiO3/(Fe2+Mn+Mg)$

### Olivinas:

Fórmula estrutural calculada com base em 4 átomos de oxigênio;  
 $Mg\# = 100 \text{ Mg}/(Mg+Fe2)$   
 $Fe\# = 100 \text{ Fe2}/(Mg+Fe2)$